



TESIS - RC14-2501

# STUDI PARAMETRIK ELEMEN JARING LABA-LABA SEBAGAI PERKERASAN JALAN DI ATAS TANAH LUNAK

HAYATUL HAMIDA  
NRP 03111550010002

DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi, DEA

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN GEOTEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, LINGKUNGAN, DAN KEBUMIHAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018



## LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :

Hayatul Hamida

NRP. 03111550010002

Tanggal Ujian : 29 Maret 2018  
Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh :

1. Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi, DEA.  
NIP. 195503291980031002

(Pembimbing I)

2. Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar M.Sc. Ph.D.  
NIP. 195304081976031002

(Penguji)

3. Dr. Yudhi Lastiasih, ST., MT  
NIP. 197701222005012002

(Penguji)

Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



Id AA Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197502121999032001



## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum wr.wb.*

*Alhamdulillah rabbil'alamin*, puji dan syukur senantiasa diucapkan atas kehadiran Allah SWT, zat Yang Maha Indah dengan segala keindahan-Nya, zat yang Maha Pengasih dengan segala kasih sayang-Nya, yang terlepas dari segala sifat lemah semua makhluk-Nya, yang telah melimpahkan rahmat dan petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini. Shalawat serta salam mahabbah semoga senantiasa dilimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW sebagai pembawa risalah Allah SWT terakhir dan penyempurna seluruh risalah-Nya.

Penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan motivasi, bantuan, saran, dan lainnya kepada penulis dalam penyelesaian tesis ini. Penulis haturkan terima kasih kepada:

1. Orang tua yang telah bekerja keras untuk pendidikan anaknya, yang selalu mendoakan dan memotivasi, serta memberikan kepercayaan. Saudariku yang juga turut mendoakan. Semoga mereka selalu dalam lindungan Allah SWT. dan mendapatkan balasan pahala dari-Nya. Amin.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi, DEA, selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dengan baik, meluangkan waktu, mengarahkan serta memberikan saran dan kritik dalam penelitian ini.
3. Tim penguji tesis, Bapak Prof. Ir. Indrasurya B. Mochtar M.Sc. Ph.D., dan Ibu Dr. Yudhi Lastiasih, ST., MT atas segala masukan dan kritik yang membangun untuk tesis ini.
4. Bapak Endah Wahyuni, ST, MSc, PhD., selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Teknik Sipil ITS atas doa dan motivasinya.
5. Sahabat-sahabat yang selalu mengingatkan, memberi doa dan motivasi serta kepercayaan. Teman-teman S2 Teknik Sipil angkatan 2015, khususnya bidang Geoteknik, yang telah bersedia menjadi tempat diskusi, memberikan masukan dan motivasi.

6. Pak Robin atas bantuan informasi dan administrasi yang berkaitan dengan perkuliahan selama penulis menempuh pendidikan S2.
7. Tim Laboratorium mekanika tanah dan batuan ITS yang membantu penulis dalam melakukan uji laboratorium selama penulis menempuh pendidikan S2.

Akhir kata, penulis berharap semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat dan menambah pengetahuan bagi siapa saja yang membacanya.

*Wassalamu'alaikum wr.wb.*

Surabaya, Maret 2018

Penulis,

## **STUDI PARAMETRIK ELEMEN JARING LABA-LABA SEBAGAI PERKERASAN JALAN DI ATAS TANAH LUNAK**

Mahasiswa : Hayatul Hamida

NRP : 3115201002

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi, DEA

### **ABSTRAK**

Struktur jaring laba-laba merupakan modifikasi dari konstruksi sarang laba-laba (KSSL) yang diciptakan oleh Ir. Ryantori dan Ir. Soetjipto sejak tahun 1976. Pondasi ini terdiri dari gabungan *rib* tengah (konstruksi) dan *rib* tepi (*pheripheric*), pelat pipih beton dan tanah pengisi dan tanah asli di sekitar konstruksi jaring laba-laba. Masing-masing dari komponen tersebut memiliki tebal dan panjang atau kedalaman pada *rib*; memiliki lebar, panjang dan tebal pada pelat beton. Pada studi ini akan dilakukan variasi dari elemen tersebut dengan fungsi beban merata dan beban terpusat untuk mengetahui bagaimana pengaruh elemen konstruksi jaring laba-laba terhadap *displacement*/deformasinya sebagai perkerasan jalan dengan variasi jenis-jenis tanah di sekitarnya, mulai dari tanah *soft* hingga *medium*. Untuk mempelajari pengaruh variasi elemen struktur jaring laba-laba dilakukan pemodelan numerik menggunakan Plaxis. Grafik hubungan antara elemen struktur jaring laba-laba dengan *displacement* yang terjadi menunjukkan hasil yang cukup signifikan pada *soft*.

**Kata kunci:** Struktur jaring laba-laba, *displacement*, Plaxis

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



# **PARAMETRIC STUDY OF ELEMENTS SPIDERWEB AS PAVEMENT ON THE SOFT SOIL**

By: Hayatul Hamida

Student Identity Number: 3115201002

Supervisor: Prof. Dr. Ir. Herman Wahyudi, DEA

## **ABSTRACT**

The structure of the spider web is a modification of the spider web construction (KSSL) created by Ir. Ryantori and Ir. Soetjipto since 1976. The foundation consists of a combination of middle rib (construction) and rib edge (pheriperic), concrete slabs and filler ground and native soil around the construction of spider webs. Each of these components has a thickness and length or depth to the rib; has a width, length and thickness on the concrete slab. In this study there will be variations of these elements with uniform load and central load functions to find out how the impact of spider web elements on the displacement / deformation as pavement with variations of surrounding soil types, ranging from soft to medium soils. To study the effect of variation of spider web structure elements, numerical modeling is done using Plaxis. Graphic relationship between spider web element elements with displacement that occurred showed significant results on soft.

**Keywords:** Spiderweb stucture, *displacement*, Plaxis

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar belakang .....	1
1.2 Perumusan masalah .....	3
1.3 Tujuan dan manfaat penelitian .....	3
1.4 Batasan masalah .....	4
<b>BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI</b>	
2.1 Pondasi dangkal.....	5
2.1.1 Pondasi rakit ( <i>mat foundation</i> ).....	5
2.1.2 Pondasi jaring laba-laba .....	6
2.2 Sifat-sifat dan parameter umum tanah dari material tanah.....	7
2.3 Detail pondasi jaring laba-laba .....	8
2.3.1 Pelat.....	8
2.3.2 <i>Rib</i> .....	9
2.3.3 Tanah pengisi .....	9
2.4 Metoda elemen hingga .....	10
2.5 Penelitian-penelitian sebelumnya.....	12
<b>BAB 3 METODE PENELITIAN</b>	
3.1 Studi literatur dan penentuan data sekunder.....	15

3.2	Penentuan parameter-parameter.....	17
3.2.1	Tanah yang digunakan sebagai model.....	17
3.2.2	Parameter struktur jaring laba-laba .....	18
3.2.3	Beban-beban kerja .....	20
3.3	Pemodelan Plaxis 2D .....	21
3.4	Analisa hasil penelitian .....	24
3.5	Kesimpulan Penelitian .....	24

#### **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1	Parameter-parameter <i>input</i> untuk Plaxis 2D .....	29
4.1.1	Pembebanan.....	30
4.1.2	Tanah dasar.....	31
4.1.3	Pondasi struktur jaring laba-laba .....	31
4.2	Variasi tebal dan panjang rib-rib.....	37
4.2.1	Variasi tebal dan panjang rib konstruksi .....	37
4.2.2	Variasi tebal dan panjang rib tepi ( <i>pheripheric</i> ).....	39
4.3	Variasi jenis tanah asli di sekitar pondasi .....	45
4.4	Analisis pengaruh variasi elemen struktur jaring laba-laba terhadap <i>displacement</i> /deformasi maksimum. ....	46

#### **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan .....	57
5.2	Saran .....	58

#### **DAFTAR PUSTAKA**

#### **BIOGRAFI PENULIS**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Pondasi jaring laba-laba dalam sketsa potongan dan denah (Ricke & Hartati, 2007).....	2
Gambar 2. 1	Zona <i>Failure</i> di bawah pondasi dangkal (Das, 2011) .....	5
Gambar 2. 2	Jenis pondasi rakit ( <i>matfoundation</i> ), Das (2011) .....	6
Gambar 2. 3	Pelat pipih menerus yang dikakukan oleh rib tegak, pipih dan tinggi di bawahnya (Ricke dan Hartati, 2007).....	8
Gambar 2. 4	Susunan pelat di atas <i>rib</i> dan tanah pengisi (Ricke dan Hartati, 2007).....	9
Gambar 2. 5	Contoh permasalahan <i>plane strain</i> dan <i>axisymmetric</i> (PLAXIS manual, 2010) .....	11
Gambar 2. 6	Model simetri PLAXIS 2D prototip konstruksi jaring laba-laba (Darjanto, 2015) .....	12
Gambar 2. 7	Variasi deformasi terhadap pembebanan (Darjanto, 2015).....	13
Gambar 2. 8	<i>Mesh</i> deformasi <i>finite elemen</i> (Elwakil dan Azzam, 2016).....	13
Gambar 3. 1	Bagan alir tahapan pelaksanaan penelitian secara umum.....	16
Gambar 3. 2	Detail elemen-elemen jaring laba-laba yang akan divariasi.....	19
Gambar 3. 3	Tampak atas pondasi jaring laba-laba .....	19
Gambar 3. 4	Variasi posisi dan tipe beban-beban kerja pada perkerasan jalan .	20
Gambar 3. 5	Contoh <i>input</i> parameter komponen <i>plate</i> (PLAXIS).....	22
Gambar 3. 6	Ilustrasi untuk pemodelan dengan komponen <i>plate</i> (PLAXIS manual, 2010) .....	22
Gambar 3. 7	Ilustrasi untuk parameter berat yang akan dimodelkan (PLAXIS manual) .....	23
Gambar 3. 8	Ilustrasi alur variasi parameter elemen-elemen jaring laba-laba (Penelitian, 2018) .....	25
Gambar 3. 9	(Lanjutan) Ilustrasi alur variasi parameter elemen-elemen jaring laba-laba (Penelitian, 2018).....	26
Gambar 3. 10	(Lanjutan) Ilustrasi alur variasi parameter elemen-elemen jaring laba-laba (Penelitian, 2018).....	27

Gambar 3. 11	Detail variasi parameter elemen-elemen jaring laba-laba untuk satu variasi jenis tanah (Penelitian, 2018).....	28
Gambar 4. 1	Ilustrasi 3D pondasi jaring laba-laba (Penelitian 2018).....	30
Gambar 4. 2	Lembar tab untuk sifat-sifat material pelat (Penelitian 2018)...	32
Gambar 4. 3	Ilustrasi pondasi jaring laba-laba yang akan dihitung (satuan di gambar dalam meter).....	32
Gambar 4. 4	Model simetri Plaxis 2D prototip struktur jaring laba-laba .....	36
Gambar 4. 5	Grafik <i>displacement</i> versus kedalaman rib tengah ( <i>Dk</i> ) dengan pembeban merata penuh di atas pondasi ( <i>q A</i> ) untuk <i>dry density</i> 1,2 t/m <sup>3</sup> .....	41
Gambar 4. 6	Grafik <i>displacement</i> versus kedalaman rib tengah ( <i>Dk</i> ) dengan pembeban merata sebagian di atas pondasi ( <i>q ½ A</i> ) untuk <i>dry density</i> 1,2 t/m <sup>3</sup> .....	42
Gambar 4. 7	Grafik <i>displacement</i> versus kedalaman rib tengah ( <i>Dk</i> ) dengan pembeban terpusat di tengah pondasi ( <i>P1</i> ) untuk <i>dry density</i> 1,2 t/m <sup>3</sup> .....	43
Gambar 4. 8	Grafik <i>displacement</i> versus kedalaman rib tengah ( <i>Dk</i> ) dengan pembeban terpusat di tepi pondasi ( <i>P2</i> ) untuk <i>dry density</i> 1,2 t/m <sup>3</sup> .....	44
Gambar 4. 9	Grafik <i>displacement</i> versus kedalaman rib tengah ( <i>Dk</i> ) dengan pembeban merata penuh di atas pondasi ( <i>q A</i> ) untuk <i>dry density</i> 1,0 t/m <sup>3</sup> .....	48
Gambar 4. 10	Grafik <i>displacement</i> versus kedalaman rib tengah ( <i>Dk</i> ) dengan pembeban merata sebagian di atas pondasi ( <i>q ½ A</i> ) untuk <i>dry density</i> 1,0 t/m <sup>3</sup> .....	49
Gambar 4. 11	Grafik <i>displacement</i> versus kedalaman rib tengah ( <i>Dk</i> ) dengan pembeban terpusat di tengah pondasi ( <i>P1</i> ) untuk <i>dry density</i> 1,0 t/m <sup>3</sup> .....	50
Gambar 4. 12	Grafik <i>displacement</i> versus kedalaman rib tengah ( <i>Dk</i> ) dengan pembeban terpusat di tepi pondasi ( <i>P2</i> ) untuk <i>dry density</i> 1,0 t/m <sup>3</sup> .....	51

Gambar 4. 13	Grafik <i>displacement</i> versus kedalaman rib tengah ( $Dk$ ) dengan pembebanan merata penuh di atas pondasi ( $q A$ ) untuk <i>dry density</i> $0,8 \text{ t/m}^3$ .....	52
Gambar 4. 14	Grafik <i>displacement</i> versus kedalaman rib tengah ( $Dk$ ) dengan pembebanan merata sebagian di atas pondasi ( $q \frac{1}{2} A$ ) untuk <i>dry density</i> $0,8 \text{ t/m}^3$ . ....	53
Gambar 4. 15	Grafik <i>displacement</i> versus kedalaman rib tengah ( $Dk$ ) dengan pembebanan terpusat di tengah pondasi ( $P1$ ) untuk <i>dry density</i> $0,8 \text{ t/m}^3$ .....	54
Gambar 5. 1	Saran untuk pemodelan selanjutnya .....	58

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1	<i>Value range for the static stress-strain modulus <math>E_s</math> for selected soils.....</i>	17
Tabel 3. 2	<i>Typical soil unit weight .....</i>	18
Tabel 4. 1	Parameter <i>input</i> material pelat pada PLAXIS untuk dimensi jaring laba-laba Dp 200 cm, tp 10 cm, Dk 50 cm dan tk 10 cm .....	35

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# BAB 1

## PENDAHULUAN

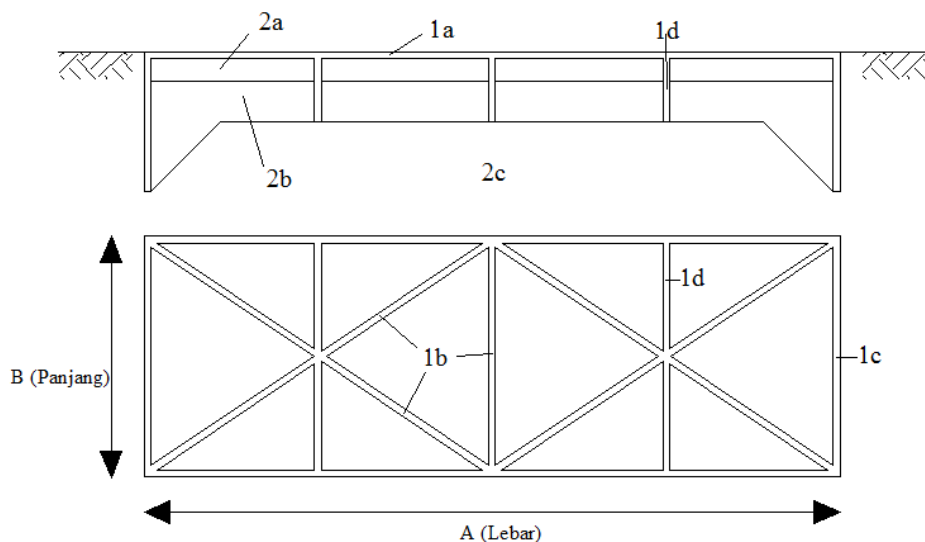
### 1.1 Latar belakang

Konstruksi jaring laba-laba merupakan modifikasi dari konstruksi sarang laba-laba (KSSL) dan tergolong jenis pondasi dangkal (*mat foundation*). Pondasi yang diciptakan oleh Ir. Ryantori dan Ir. Soetjipto sejak tahun 1976 ini terdiri dari gabungan antara sistem pondasi pelat beton yang pipih dan menerus dengan *rib* sebagai pengaku dan sistem perbaikan tanah. Selain sebagai pengaku, *rib* juga berfungsi untuk menyebarkan gaya-gaya yang bekerja pada kolom ke pelat dan *rib-rib* lainnya. *Rib-rib* ini terdiri dari *rib pheripheric* dan *rib* tengah. *Rib pheripheric* merupakan bagian *rib* terluar sementara *rib* tengah terletak di bagian dalam dengan kedalaman yang berbeda. Elemen/komponen dari *rib-rib* ini terdiri dari tebal, tinggi dan spasi atau jarak antar *rib*.

Kedalaman *rib pheripheric* dibuat lebih panjang dari pada *rib* tengah (Gambar 1.1) karena fungsi dari *rib pheripheric* selain untuk mereduksi total penurunan dan menjaga kestabilan terhadap kemungkinan terjadinya kemiringan, juga sebagai pelindung bagi tanah pengisi yang telah dipadatkan dari pengaruh-pengaruh disekitarnya seperti penurunan akibat aliran air tanah dan kembang susut (Purwanto, 2012). Dengan demikian sistem jaring laba-laba ini berhasil menangani masalah penurunan tanah yang tidak merata. Agar penurunan tetap seragam suatu struktur harus mampu berdiri di atas reaksi tanah yang tidak merata, sehingga menyebabkan pemampatan/penurunan yang merata (Tantri, 2008). Akan tetapi tidak semua yang menggunakan sistem ini berhasil menangani permasalahan penurunan tersebut. Hal ini terjadi kemungkinan akibat keterbatasan struktur bawah dalam menerima beban di atasnya.

Dalam perencanaan suatu struktur pondasi harus diketahui terlebih dahulu pembebanan yang terjadi pada struktur bangunan atas (*upper structure*), kemudian didapat beban yang bekerja pada struktur bawah ( *substructure* ) yaitu pondasi tersebut. Beban-beban yang diterima pondasi terdiri dari beban statis dan beban dinamis. Beban statis merupakan beban-beban yang bekerja secara terus-menerus

pada suatu struktur. Sementara beban dinamis merupakan beban yang diakibatkan getaran gempa, angin atau pun getaran mesin. Jenis beban-beban inilah yang akan diterima oleh pondasi sesuai dengan keadaan dan kebutuhan untuk apa pondasi tersebut didesain. Untuk pondasi jaring laba-laba yang diaplikasikan pada jalan raya sendiripun terdapat beberapa jenis beban yang bisa diterima, seperti beban kendaraan. Beban-beban yang diterima ini akan ditranfer ke tanah di bawahnya melalui pelat, tanah pengisi dibawah pelat dan *rib* yang kemudian diteruskan ke tanah asli melalui ujung (*tip*) dan tanah pengisinya (Darjanto.H, 2015).



Keterangan:

1a: plat beton pipih menerus

1b: *rib* tengah

1c: *rib* *peripheric*

1d: *rib* pembagi

2a: urugan pasir dipadatkan

2b: urugan tanah dipadatkan

2c: lapisan tanah asli yang ikut terpadatkan

Gambar 1. 1 Pondasi jaring laba-laba dalam sketsa potongan dan denah (Ricke & Hartati, 2007)

Menurut Darjanto (2015) dalam penelitiannya bahwa penambahan tinggi *rib* tidak menunjukkan peningkatan kuat dukung ultimit yang signifikan. Akan tetapi penambahan lebar *rib* menunjukkan peningkatan kuat dukung ultimit yang signifikan. Berdasarkan dari penelitian-penelitian tersebut belum dijelaskan secara spesifik bagaimana dan sejauh mana pengaruhnya pada deformasi yang terjadi. Oleh karena itu studi untuk memahami pengaruh elemen konstruksi jaring laba-laba ini perlu dilakukan lebih lanjut.

Untuk memahami pengaruh elemen konstruksi jaring laba-laba, studi dilakukan dengan memodelkan variasi parameter elemen pada konstruksi jaring laba-laba yang terdiri dari variasi jenis tanah disekitarnya atau tanah aslinya, variasi *rib-rib* berupa lebar dan kedalamannya dengan faktor beban kerja terpusat dan merata. Dengan demikian akan didapatkan kombinasi kurva-kurva korelasi *displacement*. Dari kurva tersebut dapat dilihat pengaruh elemen konstruksi jaring laba-laba tersebut.

## **1.2 Perumusan masalah**

Bagaimana pengaruh variasi elemen struktur jaring laba-laba terhadap *displacement*/deformasi tanah sebagai perkerasan jalan akibat variasi beban vertikal dan jenis-jenis tanah dasar, mulai dari tanah *soft* hingga *medium*.

## **1.3 Tujuan dan manfaat penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini yaitu untuk mempelajari *displacement*/deformasi yang terjadi pada konstruksi jaring laba-laba, yang dituangkan berupa kombinasi:

1. Variasi jenis tanah di sekitar struktur jaring laba-laba berupa parameter *dry density* ( $\gamma_d$ ).
2. Variasi beban-beban kerja pada perkerasan jalan yaitu beban terpusat dan beban merata dengan posisi dan tipe yang berbeda.
3. Variasi panjang *rib ppheriphic* dan *rib* tengah (*rib konstruksi*).
4. Variasi tebal *rib ppheriphic* dan *rib* tengah (*rib konstruksi*).

Hasil penelitian diharapkan dapat mengetahui pengaruh elemen konstruksi jaring laba-laba terhadap *displacement*/deformasinya dalam bentuk hubungan kurva-kurva korelasi antar parameter elemen-elemen konstruksi jaring laba-laba.

#### 1.4 Batasan masalah

Adapun batasan pada penelitian ini yaitu:

1. Hanya meninjau untuk perkerasan jalan, tidak membahas untuk suatu pondasi bangunan atau gedung bertingkat,
2. Tanah dasar atau tanah asli yang digunakan sebagai model dianggap homogen dengan variasi jenis tanah yang digunakan yaitu tanah *soft* hingga medium (*dry density*  $0,8 \text{ t/m}^3$ ;  $1,0 \text{ t/m}^3$  dan  $1,2 \text{ t/m}^3$ ).
3. Perangkat lunak (*software*) yang digunakan pada penelitian ini adalah Plaxis 2D versi 8,6.
4. Pemodelan yang digunakan untuk perhitungan dengan kondisi *elastis deformation* (kondisi *undrain*)
5. Tidak memperhitungkan pengaruh join pada *rib*, tidak meninjau dari segi ekonomi dan dari segi pelaksanaan seperti urutan kerja,
6. Tidak meninjau pengaruh muka air tanah dan gempa serta hanya mempelajari *displacement* yang terjadi jika tebal dan kedalaman *rib-rib* divariasikan/ berbeda.

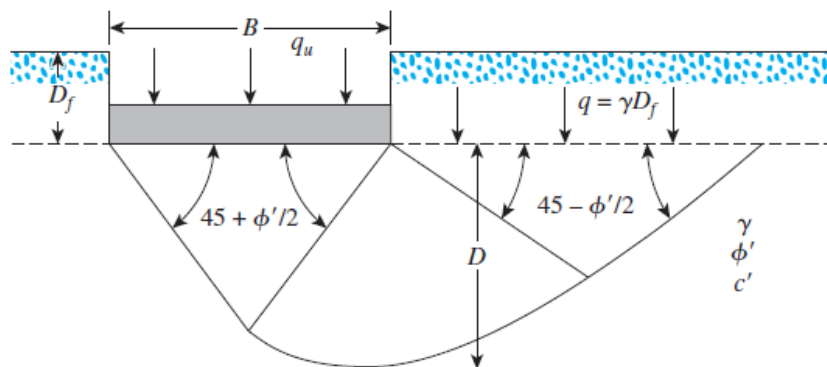
## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Pondasi dangkal

Suatu pondasi dikatakan pondasi dangkal karena kedalaman perletakan ( $D_f$ ) pondasi yang dangkal (Gambar 2.1). Terzaghi (1943) menyatakan pondasi dikatakan dangkal jika kedalaman perletakan ( $D_f$ ) kurang atau sama dengan lebar pondasinya. Budhu (2000) menetapkan bahwa dikatakan pondasi dangkal jika kedalaman perletakan ( $D_f$ ) kecil sama dengan 2,5 kalinya lebar pondasi. Sementara Das (2011) menyarankan kedalaman perletakan ( $D_f$ ) sama dengan 3 – 4 kalinya lebar pondasi.

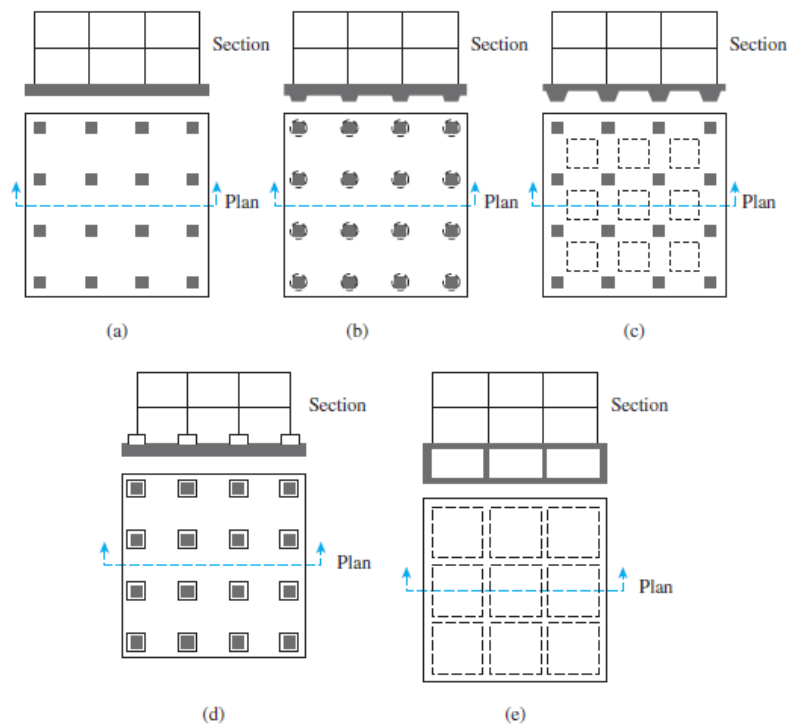
Pondasi dangkal menyalurkan/mentranfer beban yang diterimanya ke tanah di bawahnya. Pondasi dangkal sudah banyak dikembangkan, sehingga jenis pondasi ini beragam seperti pondasi telapak, pondasi menerus dan pondasi rakit. Pengembangan pondasi dangkal di Indonesia juga beragam seperti pondasi cakar ayam dan pondasi sarang laba-laba. Pondasi sarang laba-laba dikembangkan berdasarkan pondasi rakit (*mat foundation*), sehingga perhitungannya berhubungan dengan pondasi rakit.



Gambar 2. 1 Zona *Failure* di bawah pondasi dangkal (Das, 2011)

##### 2.1.1 Pondasi rakit (*mat foundation*)

Pondasi rakit merupakan pondasi dangkal dengan pelat beton yang berskala besar, umumnya digunakan untuk meneruskan beban dari sejumlah baris kolom suatu bangunan gedung. Ilustrasi model pondasi rakit ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Jenis pondasi rakit (*mat foundation*), Das (2011)

### 2.1.2 Pondasi jaring laba-laba

Pondasi jaring laba-laba merupakan gabungan konstruksi bangunan bawah konvensional yang merupakan perpaduan pondasi pelat beton pipih menerus yang di bawahnya dikakukan oleh *rib-rib* dan sistem perbaikan tanah di antara *rib-rib*. Gabungan tersebut menghasilkan kerja sama timbal balik yang menguntungkan sehingga memiliki kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan sistem pondasi dangkal lainnya.

#### 1. Konstruksi beton

Konstruksi beton pondasi jaring laba-laba berupa pelat pipih menerus yang di bawahnya dikakukan oleh *rib-rib* tegak yang pipih dan tinggi. Berdasarkan fungsinya, *rib-rib* tersebut dibagi menjadi *rib* tengah dan *rib* tepi (*peripheric*)



## 2. Tanah pengisi

Salah satu dari keistimewaan pondasi jaring laba-laba adalah mengikutsertakan tanah sebagai bagian dari konstruksi pondasi itu sendiri. Tanah hasil galian sebelumnya tidak serta merta dibuang atau tidak digunakan lagi, melainkan dijadikan bagian dari konstruksi dengan perbaikan berupa pemadatan sebagai pengisi petak-petak segitiga di antara rib-rib beton sebelumnya.

Pada dasarnya pondasi jaring laba-laba bertujuan untuk memperkaku sistem pondasi itu sendiri dengan cara berinteraksi dengan tanah pendukungnya. Seperti diketahui bahwa jika pondasi semakin fleksibel, maka distribusi tegangan/*stress* tanah yang timbul akan semakin tidak merata, terjadi konsentrasi tegangan pada daerah beban terpusat. Dan sebaliknya, jika pondasi semakin kaku/*rigid*, maka distribusi tegangan/*stress* tanah akan semakin merata. Hal ini mempengaruhi kekuatan pondasi dalam hal penurunan yang dialami pondasi. Dengan pondasi jaring laba-laba, karena mempunyai tingkat kekakuan yang lebih tinggi, maka penurunan yang terjadi akan merata karena masing-masing kolom dijepit dengan *rib-rib* beton yang saling mengunci.

### 2.2 Sifat-sifat dan parameter umum tanah dari material tanah

Hal yang paling penting sebelum melakukan pemodelan dengan analisa numerik adalah menentukan sifat-sifat material tanah yang akan dimodelkan terlebih dahulu. Sifat-sifat material ini yaitu:

1. Indeks propertis tanah dasar, terdiri dari klasifikasi tanah, aktifitas tanah, distribusi ukuran butiran, *density*, plastisitas, kelembaban dan saturasi tanah, tekstur dan sejarah tegangan tanah
2. Kompresibilitas tanah, terdiri dari konsolidasi primer, identifikasi nilai  $K_0$ , angka pori awal, uji triaxial lanjut untuk mendapatkan nilai index kompresi dan kembang yang termodifikasi ( $\lambda, \kappa$ ).
3. Kuat geser tanah. Menurut Mitchell (1993), tahanan geser merupakan fungsi dari angka pori, sudut geser tanah ( $\phi$ ), komposisi tanah, tegangan

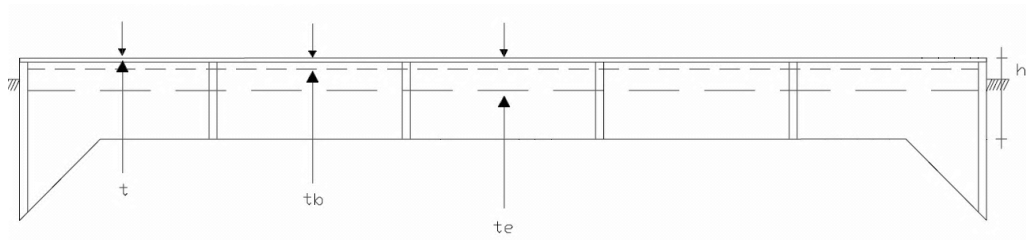
normal efektif ( $\sigma'$ ), kohesi, sejarah tegangan, suhu, regangan, kecepatan regangan, dan struktur.  $\{F(e, \phi, C, \sigma', c, H, T, \varepsilon, \dot{\varepsilon}, S)\}$

4. Sifat-sifat deformasi tanah berhubungan dengan nilai kekakuan tanah yaitu, modulus *bulk* ( $K$ ), modulus geser ( $G$ ), modulus *young* ( $E$ ), modulus *oedometer* ( $E_{oed}$ ), modulus *secant* ( $E_{sec}$ ), dan modulus *secant* pada 50 % tegangan maksimum ( $E_{50}$ ).

## 2.3 Detail pondasi jaring laba-laba

### 2.3.1 Pelat

Bentuk konstruksi seperti Gambar 2.3, dengan bahan yang relatif sedikit ( $tb$ ) akan diperoleh pelat yang memiliki kekakuan / tebal ekivalen ( $te$ ) yang tinggi. Pada umumnya  $te = 2,5-3,5 tb$ , dengan variasi tergantung desain. Penempatan pelat di atas *rib* dan sistem perbaikan tanah (tanah pengisi) akan menghasilkan penyebaran beban seperti pada Gambar 2.4, di mana untuk mendapatkan luasan pendukung pada tanah asli selebar  $b$  cukup dibutuhkan pelat efektif selebar  $c$ . Hal ini disebabkan karena proses penyebaran beban dimulai dari bawah pelat yang berada pada sisi atas lapisan perbaikan tanah.



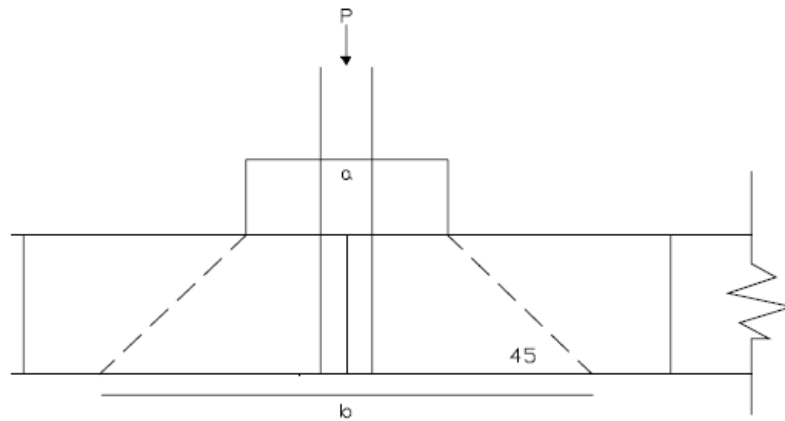
$tb$  : tebal volume penggunaan beton untuk jaring laba-laba, jika dinyatakan sebagai pelat menerus tanpa rib

$t$  : tebal pelat

$h$  : tinggi *rib*

$te$  : tebal ekivalen

Gambar 2. 3 Pelat pipih menerus yang dikakukan oleh rib tegak, pipih dan tinggi di bawahnya (Ricke dan Hartati, 2007)



Gambar 2. 4 Susunan pelat di atas *rib* dan tanah pengisi (Ricke dan Hartati, 2007)

### 2.3.2 *Rib*

Susunan *rib* membentuk segitiga dengan hubungan yang kaku menjadikan hubungan antar *rib* menjadi hubungan yang stabil terhadap pengaruh gerakan atau gaya horizontal. Penempatan *rib* yang cukup dalam diatur sedemikian rupa sehingga membagi luasan konstruksi bangunan bawah dalam petak-petak segitiga yang masing-masing luasnya tidak lebih dari 200  $m^2$ . Adanya *rib-rib* tepi (*pheripheric*) memberi keuntungan-keuntungan antara lain yaitu mereduksi total penurunan, mempertinggi kestabilan bangunan terhadap kemungkinan terjadinya kemiringan, mampu melindungi perbaikan tanah terhadap kemungkinan bekerjanya pengaruh-pengaruh negatif dari lingkungan sekitar, misalnya kembang susut tanah dan kemungkinan timbulnya degradasi akibat aliran tanah dan yang terakhir yaitu menambah kekakuan pondasi dalam tinjauannya secara makro.

### 2.3.3 Tanah pengisi

Pemadatan tanah baru dilakukan setelah *rib-rib* selesai dicor dan berumur sedikitnya 3 hari. Pemadatan sendiri harus dilaksanakan lapis demi lapis dan harus dijaga agar perbedaan tinggi antara petak yang sedang dipadatkan dengan petak-petak yang bersebelahan tidak lebih dari 25 *cm*. Hal ini disebabkan karena umur beton *rib* yang masih muda. Dengan cara ini pemadatan dapat dilaksanakan dengan cara yang mudah untuk mencapai

kepadatan yang tinggi. Di samping hasil kepadatan yang tinggi pada lapisan tanah di dalam petak *rib-rib* pondasi jaring laba-laba, lapisan tanah asli di bawahnya akan ikut terpadatkan walaupun tidak mencapai kepadatan setinggi tanah yang berada dalam petak *rib-rib* pondasi jaring laba-laba. Hal itu pun sudah memberikan hasil yang cukup memuaskan bagi peningkatan kemampuan daya dukung dan bagi ketahanan/ kestabilan terhadap penurunan (*settlement*).

## 2.4 Metoda elemen hingga

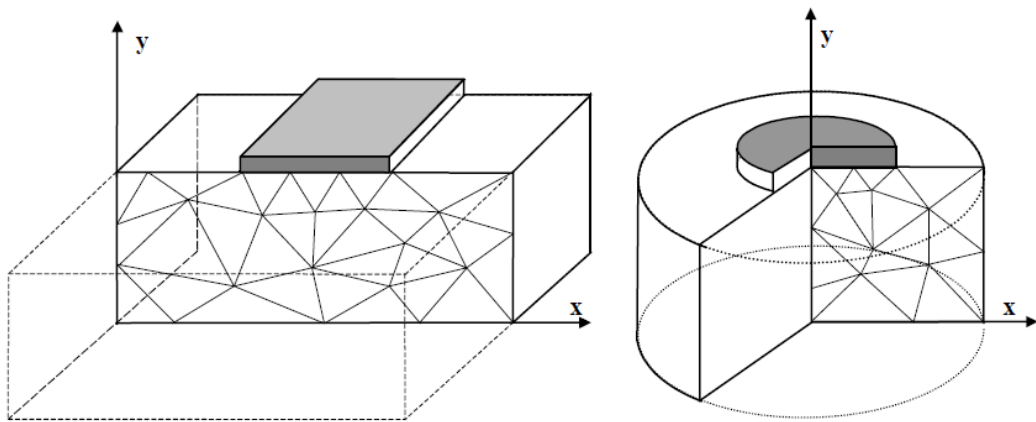
Konsep paling dasar metode elemen hingga atau sering disebut juga *finite element method* (FEM) adalah untuk menyelesaikan suatu permasalahan dengan cara membagi obyek analisa menjadi bagian-bagian kecil. Bagian-bagian kecil tersebut dianalisa kemudian hasilnya digabungkan agar mendapatkan penyelesaian pada seluruh daerah obyek.

Membagi bagian analisa hingga menjadi bagian-bagian kecil ini disebut diskritisasi (*discretizing*). Bagian-bagian kecil ini disebut elemen, terdiri dari titik-titik sudut yang disebut juga nodal atau *node* dan daerah elemen yang terbentuk dari titik-titik tersebut. Membagi bagian-bagian kecil ini menuntun pada pembuatan persamaan diferensial. Dengan demikian secara matematis FEM merupakan suatu teknik numerik dalam menyelesaikan permasalahan yang dinyatakan dalam persamaan diferensial. Secara umum tahap-tahap dalam FEM dapat diringkas sebagai berikut:

1. Membagi obyek analisa menjadi elemen-elemen kecil
2. Melakukan model sederhana yang berlaku untuk setiap elemen seperti, dimodelkan sebagai pegas, yang mana pegas ini bersifat sederhana yakni tegangan berbanding lurus dengan perubahan bentuknya
3. Membuat formula sederhana untuk setiap elemen, seperti untuk pegas berlaku hukum  $f = k.x$ , dimana  $k$  merupakan konstanta pegas dan  $x$  merupakan pertambahan panjang pegas. Pada tahap ini akan diperoleh sebuah persamaan yang disebut matrik kekakuan elemen (*element stiffness matrix*).

4. Menggabungkan seluruh elemen dan membuat persamaan simultan yang meliputi semua variabel.

PLAXIS merupakan salah satu program komputer dengan menggunakan perhitungan metode elemen hingga (*finite element method*) untuk melakukan analisis deformasi dan stabilitas pada berbagai aplikasi bidang geoteknik. Pemodelan dalam PLAXIS terdapat dua jenis, yaitu *plane strain* dan *axisymmetric* (Gambar 2.5).



Gambar 2. 5 Contoh permasalahan *plane strain* dan *axisymmetric* (PLAXIS manual, 2010)

Model *plane strain* digunakan pada model geometri dengan bentuk penampang melintang yang relatif seragam. Perpindahan dan regangan pada arah z (tegang lurus bidang) dianggap nol atau tidak terjadi. Model *axisymmetric* digunakan pada model struktur yang berbentuk lingkaran dengan penampang melintang yang relatif seragam.

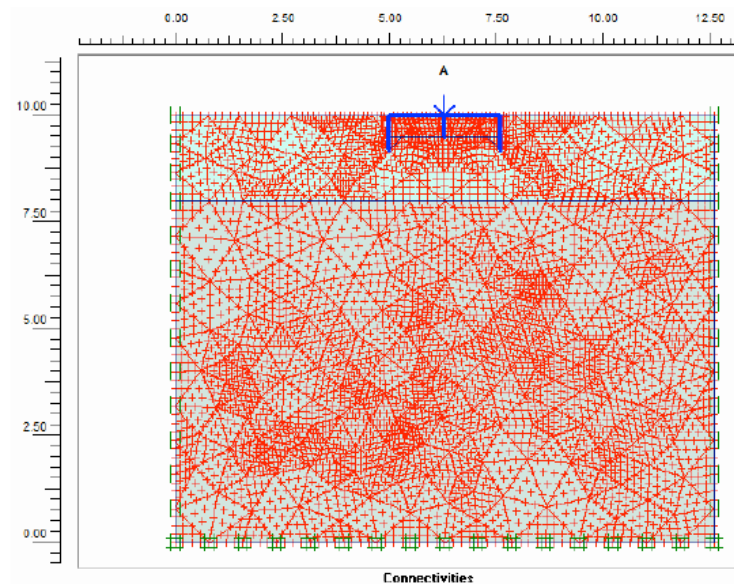
Program PLAXIS dan model-model tanah pada program ini dikembangkan untuk melakukan perhitungan untuk masalah geoteknik yang realistis. Dengan demikian PLAXIS dikatakan sebagai alat bantu pemodelan pada permasalahan geoteknik. Meskipun program PLAXIS dan model-model tanahnya telah dikembangkan, simulasi dari permasalahan yang sebenarnya tetap saja merupakan suatu pendekatan yang memiliki beberapa kesalahan numerik yang tidak dapat dihindari.

## 2.5 Penelitian-penelitian sebelumnya

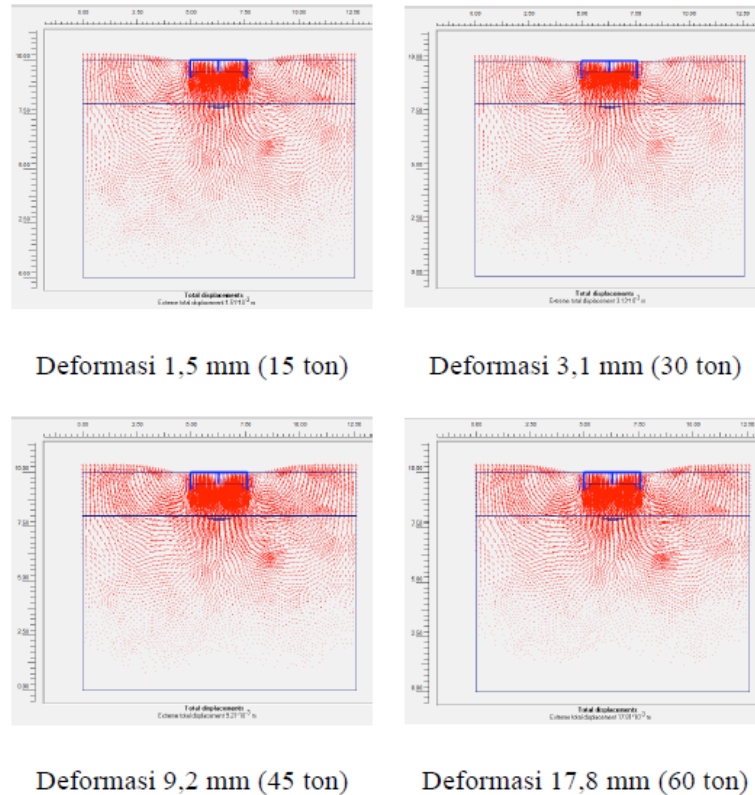
Penelitian-penelitian sebelumnya yang terkait dengan pemodelan pondasi dangkal seperti pondasi rakit dengan PLAXIS 2D diantaranya yaitu:

Pevita (2015) melakukan pemodelan untuk pondasi rakit dengan variasi tebal dan panjang *raft*. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa pada keadaan tertentu penambahan *pile* memberikan kontribusi yang tidak signifikan.

Darjanto (2015) melakukan pemodelan pondasi konstruksi jaring laba-laba dengan PLAXIS 2D (Gambar 2.6 dan Gambar 2.7) untuk mempelajari mekanisme transfer beban pada konstruksi jaring laba-laba.

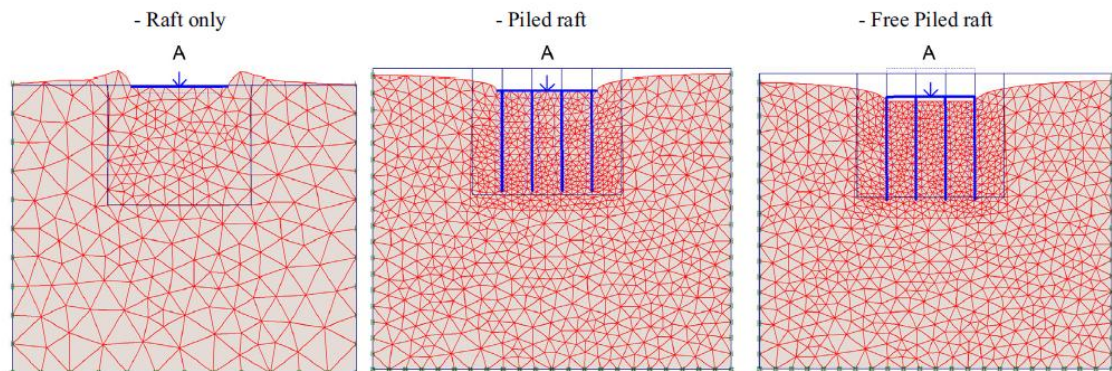


Gambar 2. 6 Model simetri PLAXIS 2D prototip konstruksi jaring laba-laba (Darjanto, 2015)



Gambar 2. 7 Variasi deformasi terhadap pembebanan (Darjanto, 2015)

Elwakil dan Azzam (2016) juga melakukan pemodelan numerik pada pondasi rakit (*raftfoundation*) seperti pada Gambar 2.8 untuk mempelajari penurunan dan perilaku podasi rakit dan *pile* pondasi rakit pada tanah pasir. Penelitiannya menunjukkan bahwa pengurangan panjang dan jumlah *pile*, menaikkan beban yang diterima oleh *raft*. Kemudian ia menemukan bahwa rasio penurunan yang optimal untuk mendesain *pileraft* yaitu 0,7 %.



Gambar 2. 8 Mesh deformasi *finite elemen* (Elwakil dan Azzam, 2016)

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## **BAB 3**

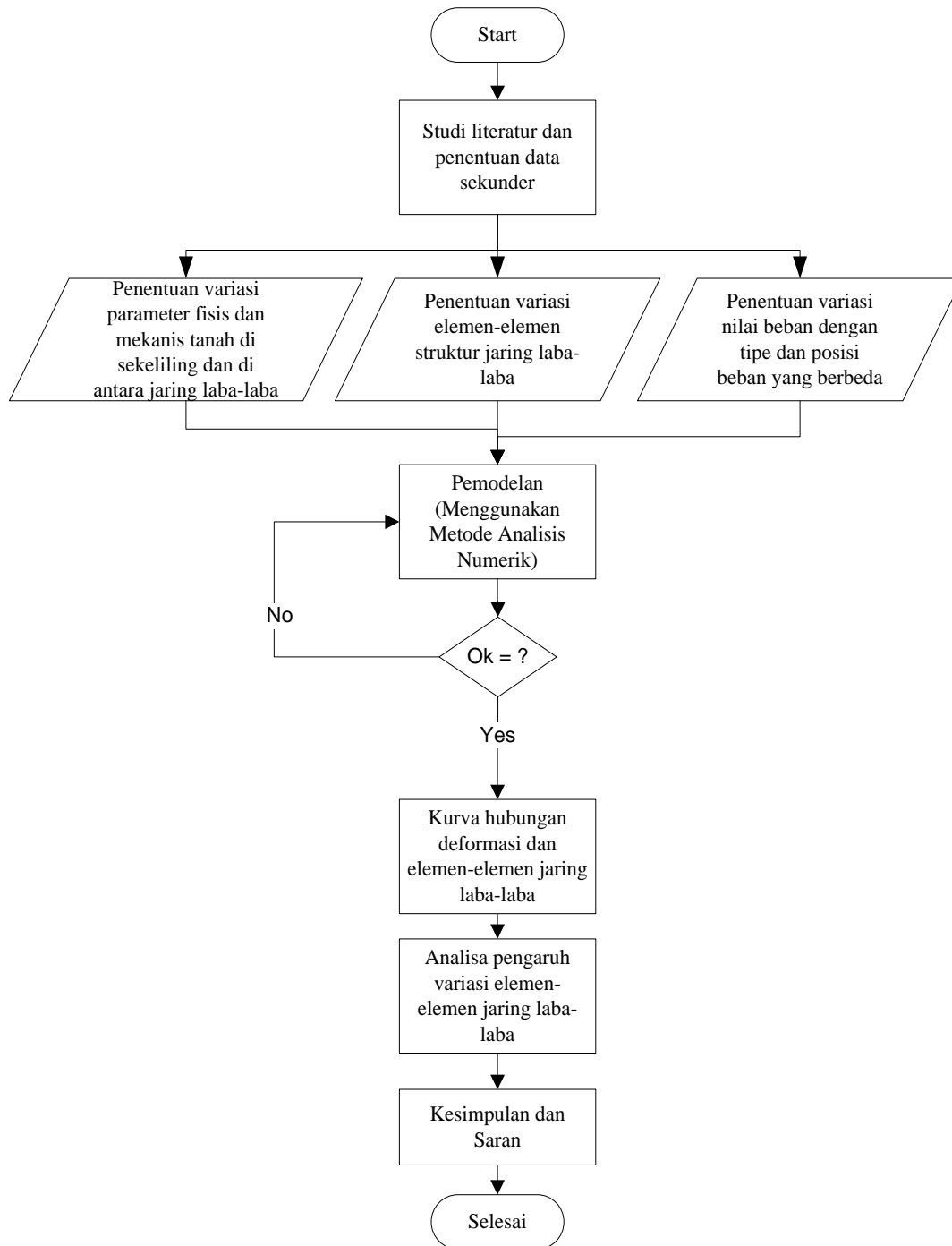
### **METODE PENELITIAN**

Metodologi penelitian menjelaskan mengenai langkah-langkah atau tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian agar dapat merumuskan permasalahan yang terjadi dan menjawab rumusan masalah penelitian. Alur penelitian yang dilakukan secara umum dapat dilihat pada bagan alir, Gambar 3.1.

Penelitian ini merupakan pemodelan pondasi jaring laba-laba yang dilakukan dengan menggunakan program Plaxis 2D, untuk melihat fenomena atau pengaruh elemen/komponen pondasi jaring laba-laba terhadap deformasinya. Serangkaian tahap-tahap yang dilakukan yaitu menentukan parameter *input* yang diperlukan seperti  $\gamma_{sat}$  tanah dan modulus elastisitas tanah ( $E$ ) serta parameter pondasi jaring laba-laba berupa kedalaman dan tebal *rib*. Proses perhitungan hingga mendapatkan hasil *displacement*/deformasi yang terjadi, dilakukan dengan menyesuaikan tahapan perhitungan yang akan dihitung oleh Plaxis 2D. Kemudian *output* berupa deformasi yang terjadi. Penentuan data masukan pada program Plaxis 2D disesuaikan dengan keadaan yang sebenarnya di lapangan dengan mengasumsikan komponen-komponen yang diperlukan berdasarkan peraturan atau *range* yang telah ada berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu, sehingga diharapkan tidak terjadi kesalahan dalam proses analisisnya. Untuk lebih jelasnya akan dirincikan sebagai berikut.

#### **3.1 Studi literatur dan penentuan data sekunder**

Data sekunder pada penelitian didapat dari laporan hasil penyelidikan tanah penelitian sebelumnya dan informasi serta dokumentasi yang berasal dari literatur ataupun buku dan internet yang berhubungan dengan penelitian. Seperti, standar lebar jalan (bina marga), nilai  $\gamma_d$  tanah untuk jenis tanah mulai dari *soft* hingga *medium*, dan lain sebagainya.



Gambar 3. 1 Bagan alir tahapan pelaksanaan penelitian secara umum

### 3.2 Penentuan parameter-parameter

Parameter-parameter yang akan digunakan dalam perhitungan meliputi parameter elemen-elemen struktur jaring laba-laba, jenis tanah dasar dan beban-beban yang bekerja.

#### 3.2.1 Tanah yang digunakan sebagai model

Tanah dasar di sekeliling pondasi atau tanah asli dianggap homogen, nilai  $\gamma_d$  tanah mengacu pada aturan standar untuk parameter tanah *soft* hingga *medium*. Dengan nilai modulus ( $E$ ) mengacu pada Tabel 3.1. Berdasarkan Tabel 3.2, maka nilai  $\gamma_d$  yang digunakan berkisar 0,8 hingga 1,2  $t/m^3$ .

Tabel 3. 1 *Value range for the static stress-strain modulus  $E_s$  for selected soils*

<b>Soil</b>	<b><math>E_s</math>, Mpa</b>
<i>Clay</i>	
<i>Very soft</i>	2 – 15
<i>Soft</i>	5 – 25
<i>Medium</i>	15 – 50
<i>Hard</i>	50 – 100
<i>Sandy</i>	25 – 250
<i>Glacial till</i>	
<i>Loose</i>	10 – 150
<i>Dense</i>	150 – 720
<i>Very dense</i>	500 – 1440
<i>Loess</i>	15 – 60
<i>Sand</i>	
<i>Silty</i>	5 – 20
<i>Loose</i>	10 – 25
<i>Dense</i>	50 – 60
<i>Sand and gravel</i>	
<i>Loose</i>	50 – 150
<i>Dense</i>	100 – 200
<i>Shale</i>	150 – 5000
<i>Silt</i>	2 – 20

Sumber: Bowles, 1997

Tabel 3. 2 Typical soil unit weight

Soil Type	Approximate Particle Size (mm)			Uniformity Coefficient $D_{60}/D_{10}$	Void Ratio		Normalized Unit Weight			
	$D_{max}$	$D_{min}$	$D_{10}$		$e_{max}$	$e_{min}$	Dry, $\gamma_{dry}/\gamma_w$		Saturated, $\gamma_{sat}/\gamma_w$	
							Min.	Max.	Min.	Max.
Uniform granular soil										
Equal spheres (theoretical)	-	-	-	1.0	0.92	0.35	-	-	-	-
Standard Ottawa sand	0.84	0.59	0.67	1.1	0.80	0.50	1.47	1.76	1.49	2.10
Clean, uniform sand	-	-	-	1.2 to 2.0	1.00	0.40	1.33	1.89	1.35	2.18
Uniform, inorganic silt	0.05	0.005	0.012	1.2 to 2.0	1.10	0.40	1.28	1.89	1.30	2.18
Well-graded granular soil										
Silty sand	2.0	0.005	0.02	5 to 10	0.90	0.30	1.39	2.04	1.41	2.28
Clean, fine to coarse sand	2.0	0.05	0.09	4 to 6	0.95	0.20	1.36	2.21	1.38	2.37
Micaceous sand	-	-	-	-	1.20	0.40	1.22	1.92	1.23	2.21
Silty sand and gravel	100	0.005	0.02	15 to 300	0.85	0.14	1.43	2.34	1.44	2.48
Silty or sandy clay	2.0	0.001	0.003	10 to 30	1.80	0.25	0.96	2.16	1.60	2.36
Gap-graded silty clay w. gravel or larger	250	0.001	-	-	1.00	0.20	1.35	2.24	1.84	2.42
Well-graded gravel, sand, silt, and clay	250	0.001	0.002	25 to 1000	0.70	0.13	1.60	2.37	2.00	2.50
Clay (30 to 50% < $2\mu$ size)	0.05	$0.5\mu$	0.001	-	2.40	0.50	0.80	1.79	1.51	2.13
Colloidal clay (over 50% < $2\mu$ size)	0.01	$10\text{\AA}$	-	-	12.00	0.60	0.21	1.70	1.14	2.05
Organic silt	-	-	-	-	3.00	0.55	0.64	1.76	1.39	2.10
Organic clay (30 to 50% < $2\mu$ size)	-	-	-	-	4.40	0.70	0.48	1.60	1.30	2.00

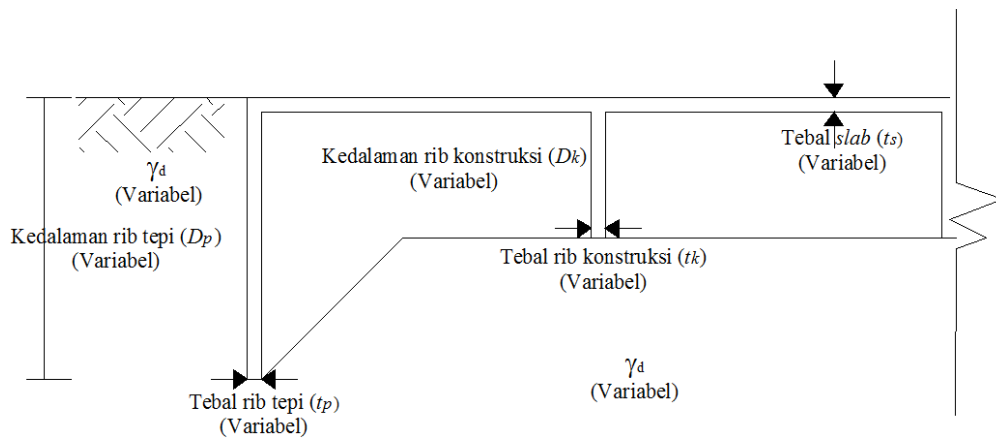
Note:  $\gamma_w = 62.4 \text{ lb/ft}^3 = 1 \text{ gm/cm}^3 = 0.983 \text{ t/m}^3 = 9.80 \text{ kN/m}^3$  (at STP conditions).

Source: Hough (26), pp. 34, 35.

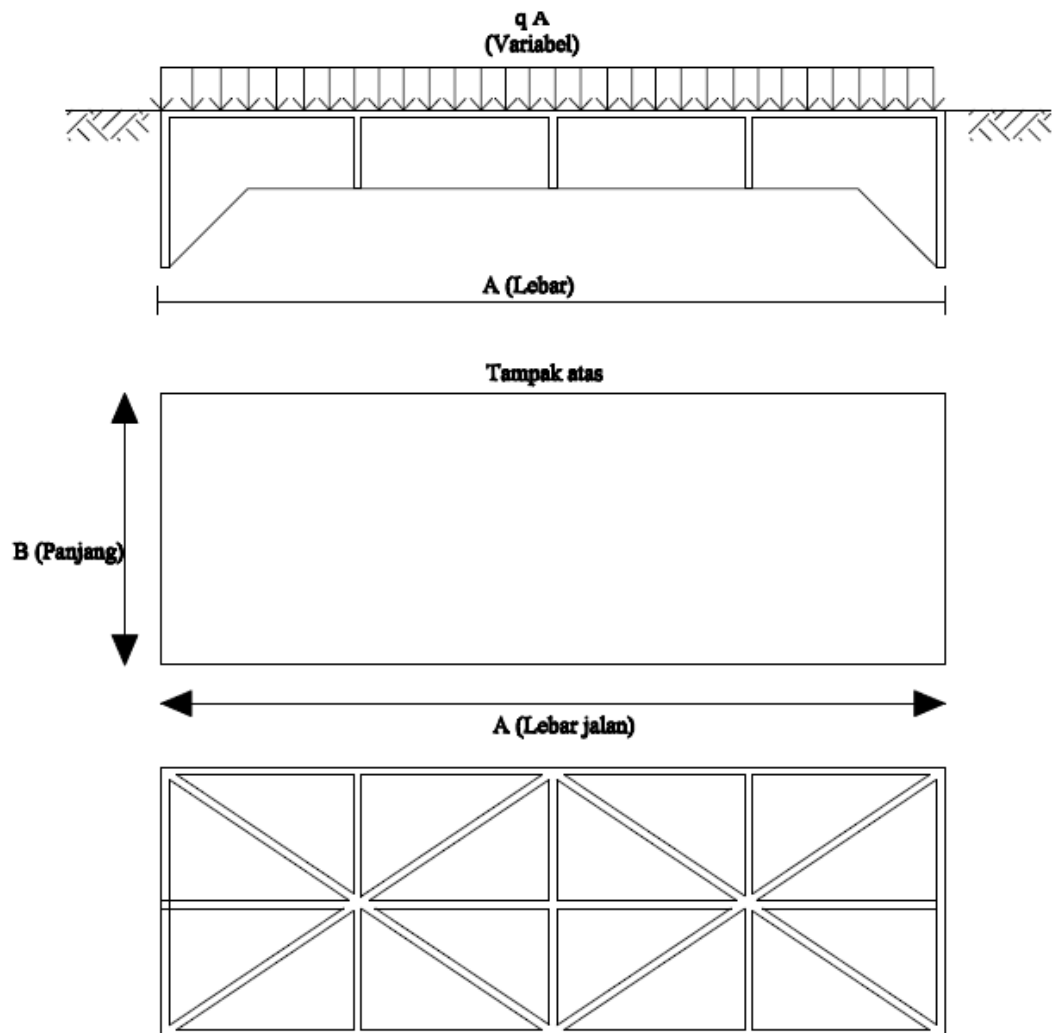
Sumber: Kulhawy and Mayne, 1990

### 3.2.2 Parameter struktur jaring laba-laba

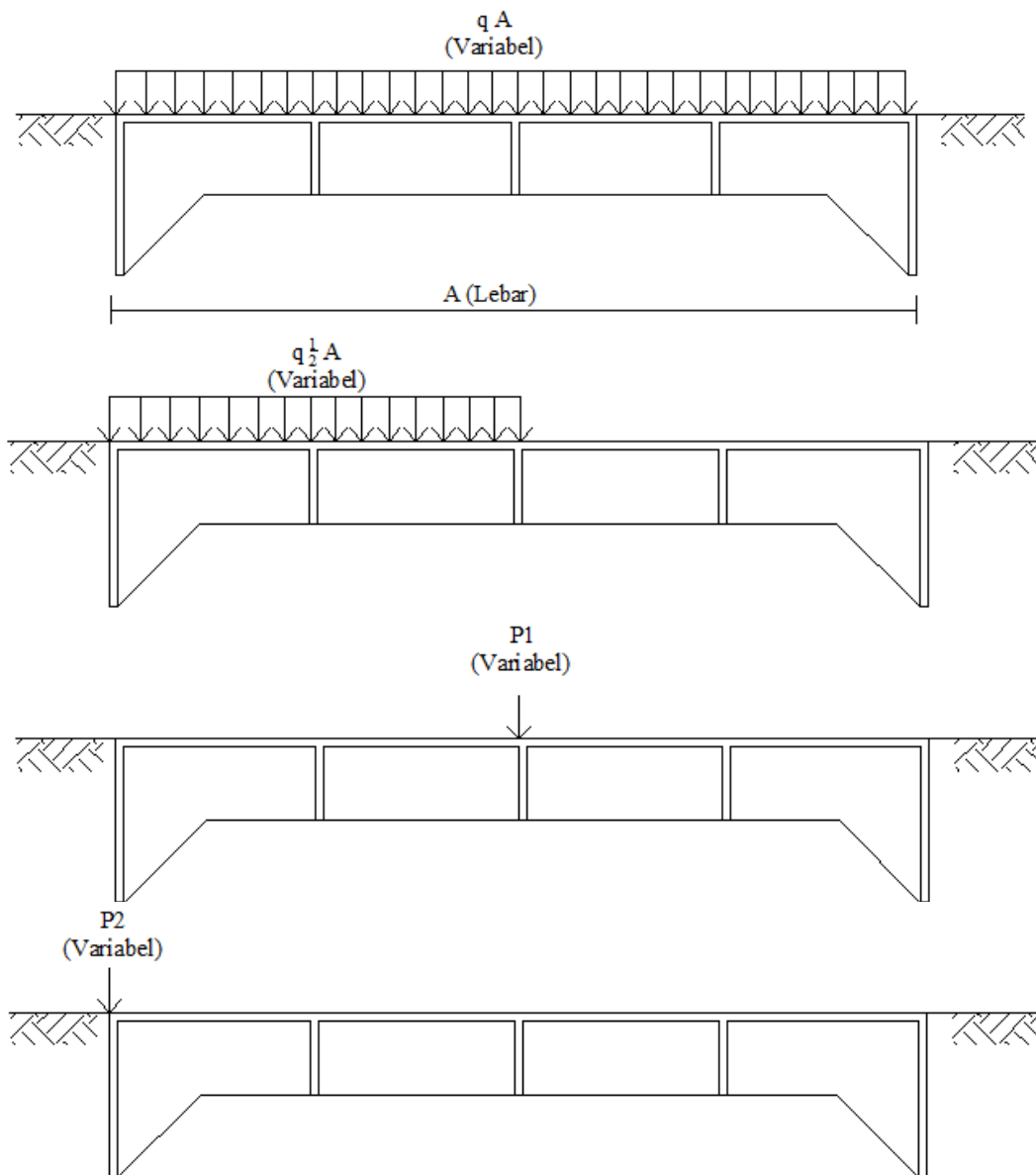
Parameter *rib-rib* akan divariasikan dari ukuran standar jaring laba-laba dengan memperpanjang maupun memperpendek kedalaman *rib* dan mempertebal maupun mempertipis tebal *rib* (Gambar 3.2). *Rib pherypheric* memiliki ketinggian 200 cm hingga 300 cm dengan ketebalan 10 cm hingga 15 cm dan tinggi *rib* tengah atau sering juga disebut *rib* konstruksi berkisar antara 50 cm hingga 150 cm dengan ketebalan 10 cm hingga 15 cm. Sehingga nilai-nilai yang akan digunakan pada penelitian ini akan berkisar dari *range* tersebut. Untuk tebal pelat (*slab*) yang digunakan yaitu sebesar 15 cm dan panjang 3,5 m dengan lebar jalan 7 m (Gambar 3.3).



Gambar 3. 2 Detail elemen-elemen jaring laba-laba yang akan divariasi



Gambar 3. 3 Tampak atas pondasi jaring laba-laba



Gambar 3. 4 Variasi posisi dan tipe beban-beban kerja pada perkerasan jalan

### 3.2.3 Beban-beban kerja

Beban-beban yang diterima pondasi jaring laba-laba yaitu beban terpusat dan beban merata. Beban terpusat akan diletakkan di tengah dan di tepi, sementara beban merata diletakkan secara penuh yaitu selebar pelat (*slab*) dan beban merata tidak penuh yaitu setengah dari lebar pelat (*slab*) (Gambar 3.4). Pembebanan ini untuk mewakili yang terjadi di lapangan, seperti beban merata yang tidak penuh dianggap bahwa satu lajur saja yang terkena beban kendaraan, dan jika beban

merata penuh berarti selebar jalan terkena beban kendaraan. Untuk beban terpusat diasumsikan sebagai beban dari roda kendaraan dengan posisi di tengah dan di tepi dari pondasi jaring laba-laba.

### 3.3 Pemodelan Plaxis 2D

Setelah menentukan parameter-parameter, maka dilakukan pemodelan dengan program Plaxis 2D. Pemodelan pondasi jaring laba-laba dilakukan dengan menggunakan komponen geometri pelat (*plate*). Untuk memodelkan komponen jaring laba-laba, terdapat beberapa parameter yang harus dimasukkan, yaitu propertis kekakuan, angka *poisson*, berat ( $w$ ), dan parameter kekuatan (plastisitas). (Gambar 3. 5)

Propertis kekakuan terkait dengan nilai kekakuan lentur/*flexural* ( $EI$ ) dan kekakuan aksial ( $EA$ ). Nilai  $EI$  dan  $EA$  merupakan kekakuan persatuan lebar dalam arah keluar dari bidang gambar. Oleh sebab itu kekakuan aksial ( $EA$ ), dimasukkan dalam gaya per satuan panjang dan kekakuan lentur ( $EI$ ) dimasukkan dalam satuan gaya kali satuan panjang kuadrat persatuan panjang (Gambar 3. 6). Peneliti memodelkan komponen *plate* pada Plaxis 2D ini dengan membagi menjadi 3 (tiga) komponen *plate* yang berbeda yaitu pelat, rib tengah dan rib tepi, yang masing-masing nilai  $EI$  dan  $EA$  di sesuaikan berdasarkan dimensi yang akan di variasikan.

Plate properties

Material set  
 Identification:   
 Material type:

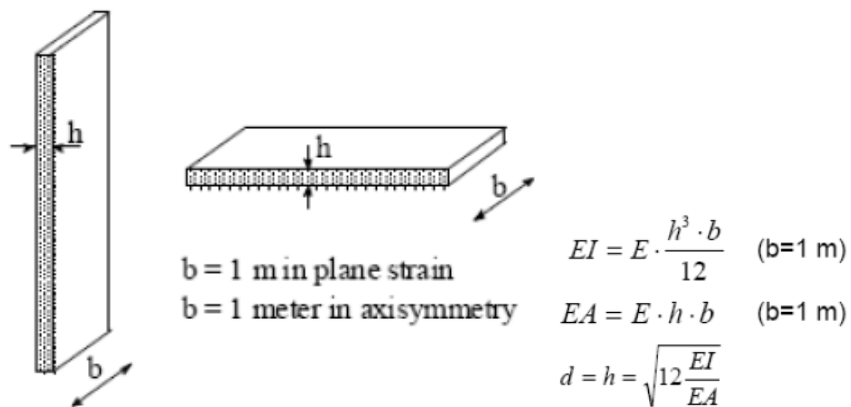
Comments

Properties

EA :  kN/m  
 EI :  kNm<sup>2</sup>/m  
 d :  m  
 w :  kN/m/m  
 v :   
 M<sub>p</sub> :  kNm/m  
 N<sub>p</sub> :  kN/m  
 Rayleigh α :   
 Rayleigh β :

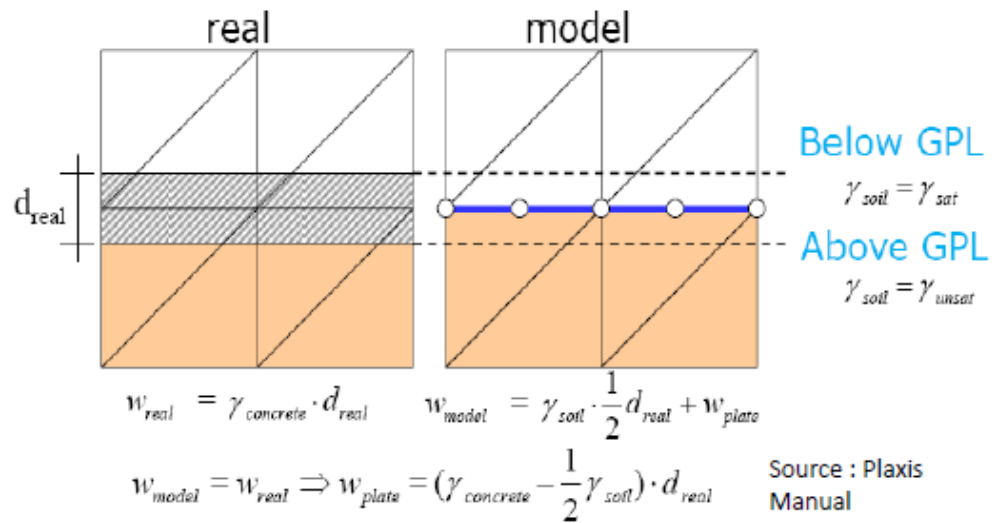
OK Cancel

Gambar 3. 5 Contoh *input* parameter komponen *plate* (PLAXIS)



Gambar 3. 6 Ilustrasi untuk pemodelan dengan komponen *plate* (PLAXIS manual, 2010)





Gambar 3. 7 Ilustrasi untuk parameter berat yang akan dimodelkan (PLAXIS manual)

Selain parameter kekakuan, juga diperlukan memasukkan angka *poisson* ( $\nu$ ). Disarankan untuk memasukkan nilai nol untuk angka *poisson* pada struktur tipis dengan profil tertentu atau struktur yang relatif fleksibel seperti turap baja. Untuk struktur yang benar-benar masif, seperti dinding beton, akan lebih realistis jika dimasukkan angka *poisson* sebenarnya sebesar 0,15. Untuk parameter berat pada *plate* dapat ditentukan dalam satuan gaya per satuan luas. Pada struktur yang relatif masif, pada prinsipnya berat elemen *plate* diperoleh dengan mengalikan berat isi material dengan ketebalannya. Perlu diingat bahwa dalam model elemen hingga, *plate* berada di atas suatu kontinum sehingga menimpa tanah. Dengan demikian untuk menghitung berat total dari tanah dengan struktur secara akurat, maka berat isi material *plate* harus dikurangi dengan berat isi tanah terlebih dahulu. (Gambar 3. 7)

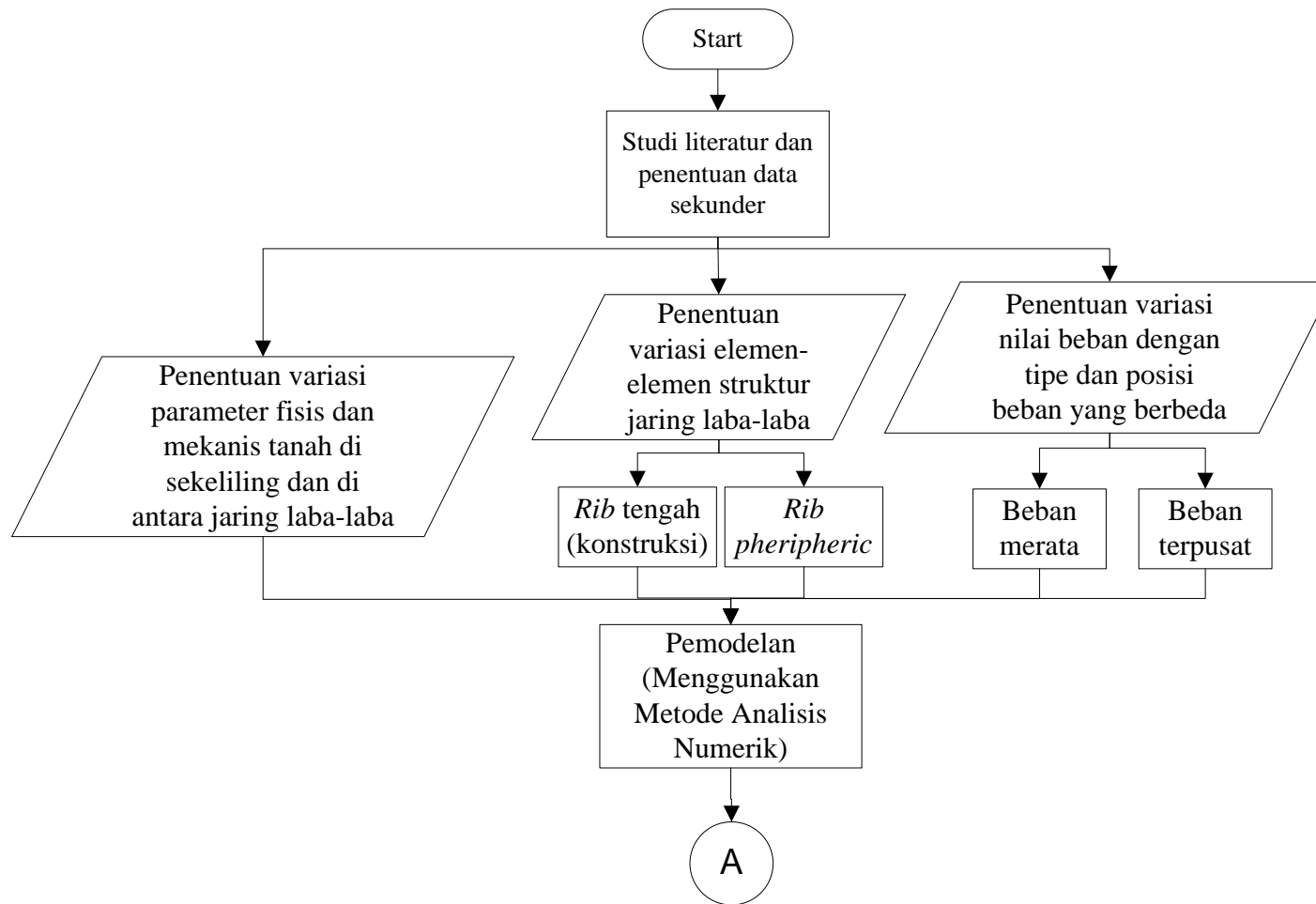
Pemodelan dilakukan satu persatu dari variasi yang ada. Sehingga akan diperoleh nilai-nilai *displacement* pada setiap variasi pula, untuk lebih jelas alur variasi yang akan dimodelkan dapat dilihat pada Gambar 3. 8 hingga Gambar 3.

### **3.4 Analisa hasil penelitian**

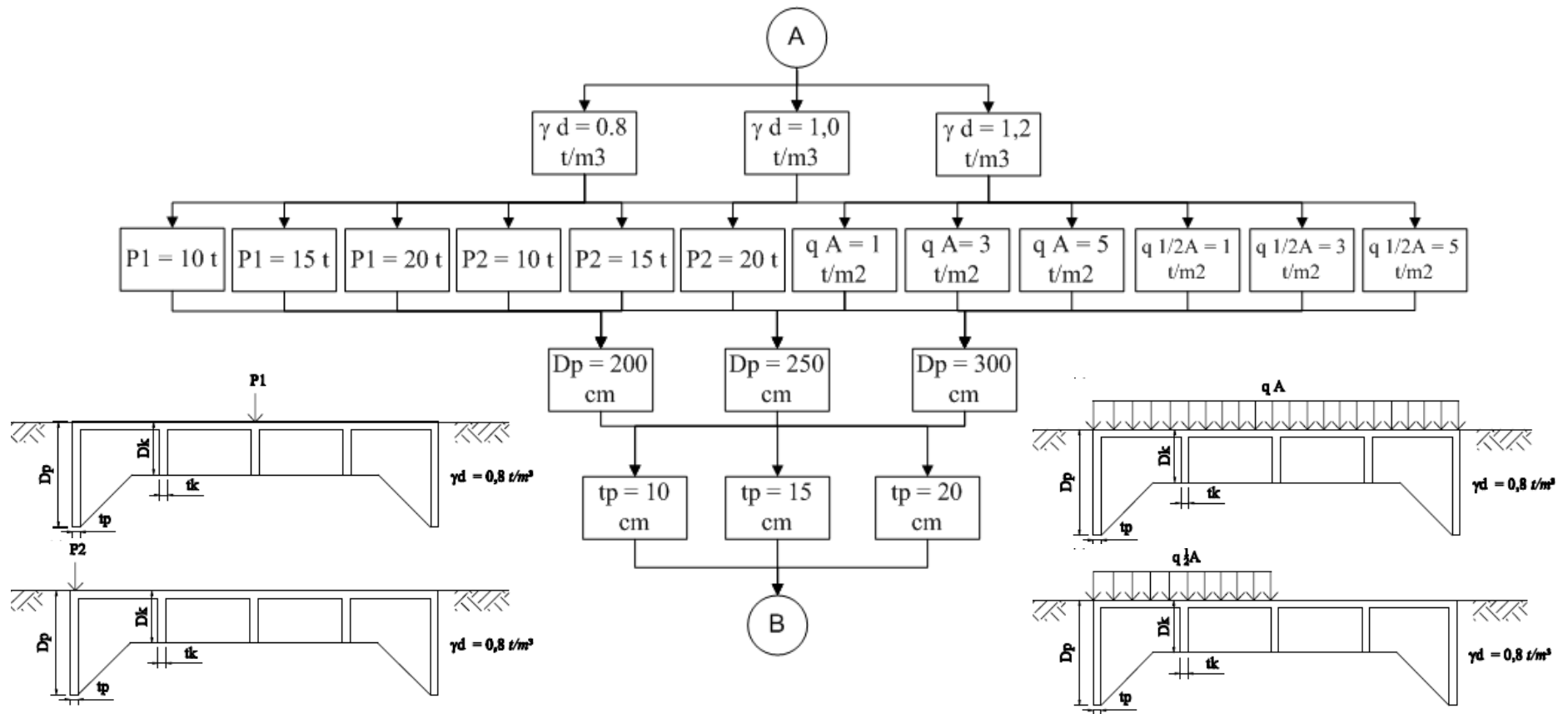
Hasil ini akan disajikan dalam bentuk grafik-grafik agar lebih mudah dianalisa. Dengan demikian akan terlihat gambaran fenomena yang terjadi pada setiap variasi yang dilakukan baik itu terhadap variasi *rib-rib* pondasi jaring laba-laba, jenis tanah dasar maupun variasi pembebanan.

### **3.5 Kesimpulan Penelitian**

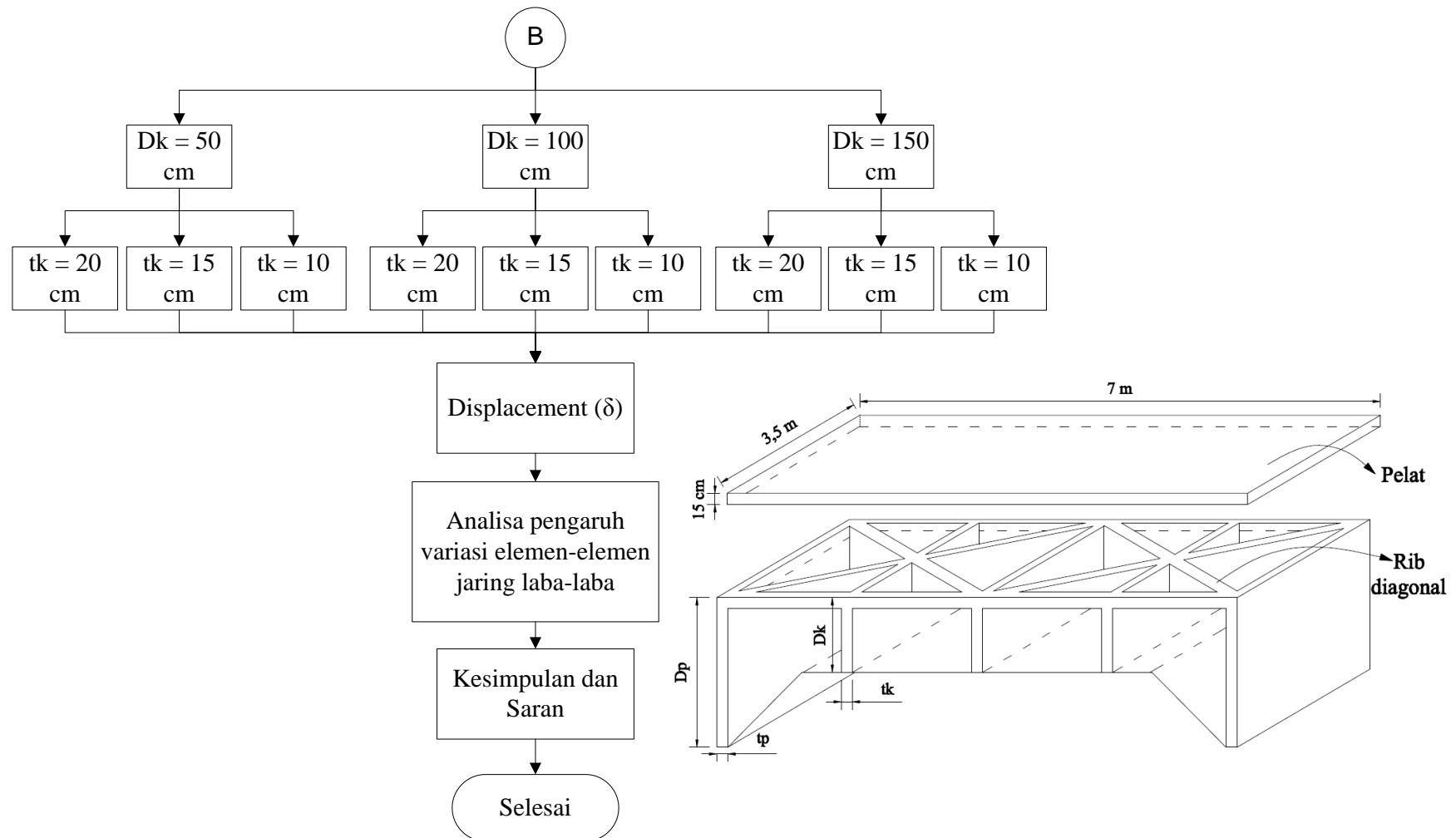
Dalam tahapan ini dilakukan penarikan kesimpulan secara menyeluruh terhadap hasil penelitian yang diperoleh untuk mengetahui apakah pengerjaan penelitian telah mencapai tujuan yang diharapkan.



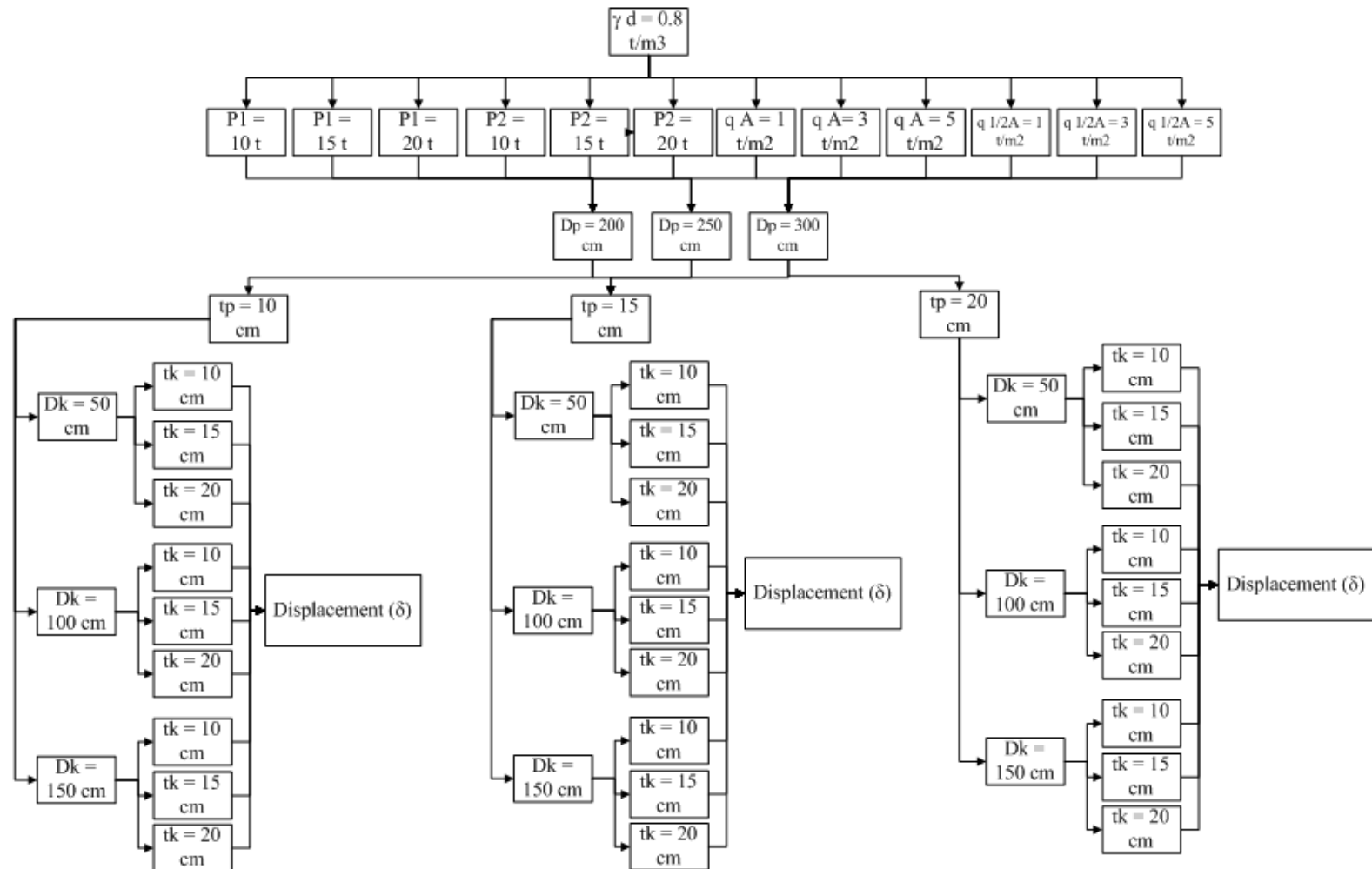
Gambar 3. 8 Ilustrasi alur variasi parameter elemen-elemen jaring laba-laba (Penelitian, 2018)



Gambar 3. 9 Ilustrasi alur variasi parameter elemen-elemen jaring laba-laba (Lanjutan) (Penelitian, 2018)



Gambar 3. 10 Ilustrasi alur variasi parameter elemen-elemen jaring laba-laba (Lanjutan) (Penelitian, 2018)



Gambar 3. 11 Detail variasi parameter elemen-elemen jaring laba-laba untuk satu variasi jenis tanah (Penelitian, 2018)

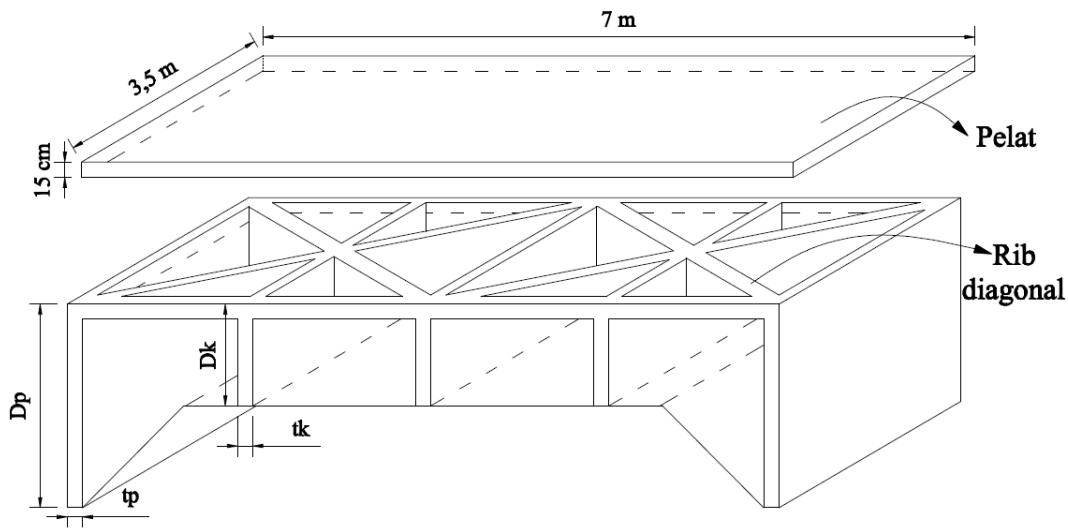
## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Untuk mempelajari korelasi *displacement* yang terjadi pada struktur jaring laba-laba perlu dilakukan variasi *rib-rib* jaring laba-laba melalui pendekatan dengan menggunakan Plaxis 2D. Memodelkan dengan Plaxis 2D harus memperhatikan bagaimana memodelkan pondasi yang nyatanya 3D dituangkan dalam 2D. Perhitungan yang dilakukan untuk memodelkan setidaknya memberikan hasil yang hampir mendekati penggambaran yang sebenarnya di lapangan. Darjanto (2015), telah melakukan penelitian dengan membandingkan besar *displacement*/deformasi yang terjadi di lapang yaitu dengan memodelkan pondasi jaring laba-laba sebagai pondasi pelat penuh tanpa rib. Penelitian tersebut menyatakan bahwa ketebalan pelat 1,6 – 2 kali tebal pelat struktur jaring laba-laba menunjukkan deformasi yang hampir sama. Jika tebal pelat pada konstruksi jaring laba-laba setebal 1,5 cm maka pada pelat penuh yaitu 1,6 – 2 kali 1,5 cm. Berdasarkan penelitian tersebut, maka pada penelitian ini penulis menggunakan 2 kali tebal pelat konstruksi jaring laba-laba. Tebal pelat ini penulis nyatakan sebagai tebal ekivalen pelat.

#### **4.1 Parameter-parameter *input* untuk Plaxis 2D**

Data-data yang diperlukan untuk *input* program Plaxis 2D yaitu data tanah dan pelat, karena pondasi jaring laba-laba dimodelkan sebagai pelat di dalam Plaxis 2D. Perhitungan untuk menentukan nilai kekakuan pondasi struktur jaring laba-laba dihitung dengan membagi komponen-komponen struktur jaring laba-laba menjadi beberapa komponen yaitu rib konstruksi (rib tengah), rib tepi dan pelat. Sementara untuk rib diagonal yang berada di dalamnya (Gambar 4. 1) diasumsikan bahwa kekakuannya termasuk kepada pelat pondasi struktur jaring laba-laba. Hal ini berdasarkan penelitian yang dilakukan Darjanto (2015) seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.



Gambar 4. 1 Ilustrasi 3D pondasi jaring laba-laba (Penelitian 2018)

#### 4.1.1 Pembebanan

Pembebanan yang dimaksudkan di sini yaitu untuk mewakili beban-beban kendaraan dan lainnya yang diterima oleh pondasi struktur jaring laba-laba sebagai perkerasan jalan yaitu berupa beban garis/terpusat dan beban merata. Beban-beban ini dibagi berdasarkan posisinya yaitu beban terpusat yang berada di tengah pondasi dan di tepi pondasi serta beban merata yang berada di seluruh lebar pondasi dan yang berada hanya sebagian dari lebar pondasi (Gambar 3. 4). Perbedaan posisi beban ini dilakukan guna untuk melihat bagaimana perbedaan deformasi yang terjadi pada pondasi jaring laba-laba jika sekiranya posisi beban berbeda, seperti halnya yang terjadi di lapangan. Adakalanya kendaraan hanya berada di posisi tertentu dan adakalanya kendaraan berada memenuhi lebar jalannya. Sehingga dengan memposisikan beban sesuai keadaan ini dapat dilihat perbedaan yang terjadi.



#### 4.1.2 Tanah dasar

Tanah dasar di sekeliling struktur jaring laba-laba dianggap homogen, nilai  $\gamma_d$  tanah berdasarkan pada aturan standar untuk parameter tanah *soft* hingga medium. Dengan nilai modulus ( $E$ ) mengacu pada Tabel 3. 1. Berdasarkan Tabel 3. 2, maka nilai  $\gamma_d$  yang digunakan berkisar 0,8 hingga 1,2  $t/m^3$ .

#### 4.1.3 Pondasi struktur jaring laba-laba

Pondasi struktur jaring laba-laba dimodelkan sebagai material pelat di dalam Plaxis 2D, seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Parameter-parameter untuk material pelat sendiri yaitu nilai-nilai kekakuan lentur ( $EI$ ) dan kekakuan aksial ( $EA$ ), poisson ratio ( $\nu$ ) dan berat ( $w$ ), untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4. 2. Nilai-nilai kekakuan lentur ( $EI$ ) dan kekakuan aksial ( $EA$ ) dihitung untuk setiap variasi-variasi dimensi pondasi jaring laba-laba.

Parameter-parameter kekakuan yang dihitung dibagi menjadi beberapa bagian yaitu parameter kekakuan untuk rib konstruksi/tengah, rib tepi, dan kekakuan untuk pelat/slab. Dimisalkan menggunakan tebal rib konstruksi ( $t_k$ ) sebesar 10 cm, kedalaman rib konstruksi ( $D_k$ ) 50 cm, tebal rib tepi/ *peripheral* ( $t_p$ ) 10 cm dan kedalaman rib tepi/ *peripheral* ( $D_p$ ) 200 cm (Gambar 4. 3).

Nilai mutu beton yang digunakan yaitu K250 sehingga  $f'_c = 250 \times 0,083 = 20,75$  MPa dengan demikian nilai modulus beton ( $E$ ) =  $4700 \times \sqrt{f'_c} = 21409,519$  MPa. Sehingga nilai  $EI$  dan  $EA$  dapat dihitung sesuai dimensinya dengan mengalikan nilai modulus beton dan nilai  $I$  (inersia) serta modulus beton dan nilai  $A$  (luasan bidang). Nilai-nilai yang didapat untuk input Plaxis ditampilkan pada Tabel 4. 1.

**Sifat pelat**

Kumpulan material

Identifikasi:

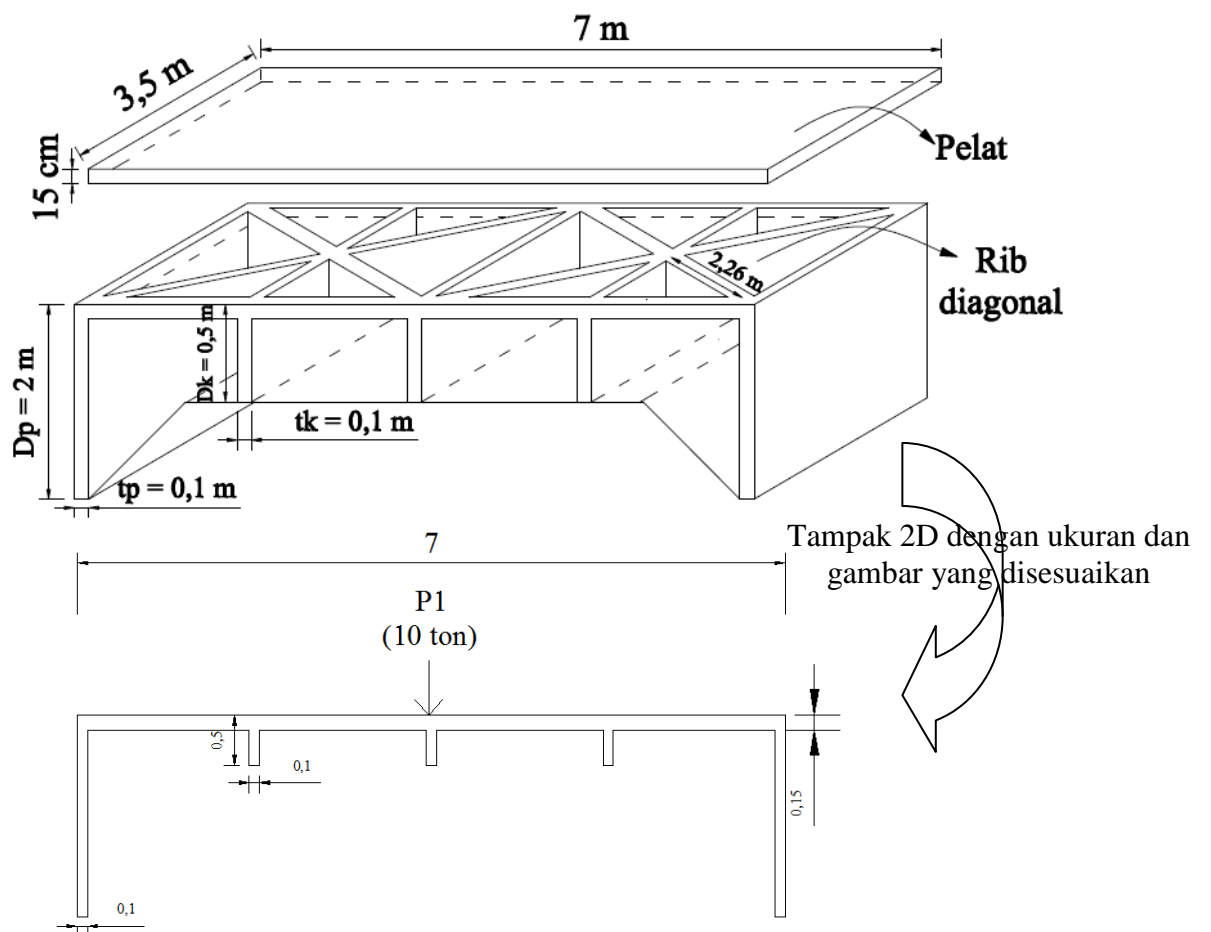
Jenis material:

Komentar

Sifat-sifat

EA :	6,117E+04	kN/m
EI :	1784,127	kNm <sup>2</sup> /m
d :	0,592	m
w :	1,090	kN/m/m
v :	0,150	
M <sub>p</sub> :	1,000E+15	kNm/m
N <sub>p</sub> :	1,000E+15	kN/m
α Rayleigh :	0,000	
β Rayleigh :	0,000	

Gambar 4. 2 Lembar tab untuk sifat-sifat material pelat (Penelitian 2018)



Gambar 4. 3 Ilustrasi pondasi struktur jaringan laba-laba yang akan dihitung (satuan di gambar dalam meter)

#### A. Menghitung kekakuan rib

Untuk dimensi rib-rib sebagai berikut (Gambar 4. 3):

$$\begin{aligned}
 E_{\text{beton}} &= 4700 \times \sqrt{f'_c} &= 21409,519 \text{ Mpa} = 21409519 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{Kedalaman rib tepi (Dp)} &= 200 \text{ cm} = 2 \text{ m} \\
 \text{Tebal rib tepi (tp)} &= 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m} \\
 \text{Kedalaman rib tengah (Dk)} &= 50 \text{ cm} = 0,5 \text{ m} \\
 \text{Tebal rib tengah (tk)} &= 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m} \\
 \text{Lebar struktur jaring laba-laba (B)} &= 350 \text{ cm} = 3,5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Untuk mencari nilai EI dan EA model, perlu dikonversikan dari bentuk aslinya menjadi bentuk *plane strain* dengan 1 m panjang.

$$\begin{aligned}
 A &= B \times t_p = 3,5 \times 0,1 = 0,35 \text{ m}^2 \\
 I &= \frac{1}{12} \times B \times t_p^3 = \frac{1}{12} \times 3,5 \times 0,1^3 = 0,000291667 \text{ m}^4 \\
 EI &= 21409519 \times 0,000291667 = 6244,443 \text{ kN m}^2
 \end{aligned}$$

$A_{\text{square}} = 0,35 \text{ m}^2$  sehingga dari luas dapat dihitung besar sisi untuk bentuk *square*.

$$\begin{aligned}
 A &= 0,35 \text{ m}^2 = \text{sisi} \times \text{sisi} \\
 s_{\text{square}} &= \sqrt{0,35 \text{ m}^2} = 0,5916 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Kemudian,

$$\begin{aligned}
 s_{\text{square}} &= s_{\text{plane strain}} = 0,5916 \text{ m} \\
 A_{\text{plane strain}} &= 0,5916 \times 1 = 0,5916 \text{ m}^2 \\
 I_{\text{plane strain}} &= \frac{1}{12} \times 1 \times 0,5916^3 = 0,017255 \text{ m}^4 \\
 E_{\text{plane strain}} &= \frac{E \times I}{I_{\text{plane strain}}} = \frac{6244,443}{0,017255} = 361886,92 \text{ kN m}^2 \\
 E I_{\text{model}} &= \frac{E_{\text{plane strain}} \times I_{\text{plane strain}}}{3,5} = 1784,1266 \text{ kN m}^2/\text{m} \\
 E A_{\text{model}} &= \frac{E_{\text{plane strain}} \times A_{\text{plane strain}}}{3,5} = 61170,05403 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

## B. Perhitungan nilai-nilai kekakuan pelat

$$\text{Tebal pelat} = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$$

$$\text{Panjang struktur jaring laba-laba (A)} = 700 \text{ cm} = 7 \text{ m}$$

$$\text{Lebar struktur jaring laba-laba (B)} = 350 \text{ cm} = 3,5 \text{ m}$$

Terdapat rib diagonal di tengah struktur jaring laba-laba (Gambar 4. 3), nilai kekakuan rib diagonal ini dimasukkan ke dalam nilai kekakuan pelat sehingga perlu dihitung kekakuan total antara pelat dan rib diagonal. Untuk menghitung nilai kekakuan total, diperlukan nilai tebal pelat yang telah memasukkan pengaruh rib diagonal.

Besarnya tebal pelat yang telah memasukkan pengaruh rib diagonal dapat dihitung dengan mengetahui volume beton gabungan antara pelat dan rib diagonal.

$$\text{Volume pelat} = 3,5 \times 7 \times 0,15 = 3,675 \text{ m}^3$$

$\text{Volume rib diagonal} = 8 (0,1 \times 0,5 \times 2,26) = 0,904 \text{ m}^3$  karena terdapat 8 rib diagonal yang panjangnya 2,26 m. (Gambar 4. 3)

$$\text{Volume diagonal + volume pelat} = 3,675 + 0,904 = 4,579 \text{ m}^3$$

Dengan demikian, tebal pelat seandainya hanya pelat menerus tanpa rib yaitu:

$$\text{Volume} = \text{panjang} \times \text{lebar} \times \text{tinggi}$$

$$\text{Volume} = 3,5 \times 7 \times t_{\text{pelat}}$$

$$4,579 = 3,5 \times 7 \times t_{\text{pelat}}$$

$$t_{\text{pelat}} = \frac{4,579}{3,5 \times 7} = 0,1869 \text{ m}$$

Tebal pelat ekuivalen ( $t_e$ ) = 2 x tebal pelat , sehingga:

$$t_e = 2 \times 0,1869 = 0,3738 \text{ m}$$

$$\text{Maka, } A = 0,3738 \times 3,5 = 1,3082 \text{ m}^2$$

$$I = \frac{1}{12} \times B \times t_e^3 = \frac{1}{12} \times 3,5 \times 0,3738^3 = 0,015233176 \text{ m}^4$$

$$EI = 21409519 \times 0,015233176 = 326134,972 \text{ kN m}^2$$

$A_{\text{square}} = 1,3082 \text{ m}^2$  sehingga dari luas dapat dihitung besar sisi untuk bentuk *square*.

$$A = 1,3082 \text{ m}^2 = \text{sisi} \times \text{sisi}$$

$$s_{\text{square}} = \sqrt{1,3082 \text{ m}^2} = 1,1438 \text{ m}$$

Kemudian,

$$s_{\text{square}} = s_{\text{plane strain}} = 1,1438 \text{ m}$$

$$A_{\text{plane strain}} = 1,1438 \times 1 = 1,1438 \text{ m}^2$$

$$I_{\text{plane strain}} = \frac{1}{12} \times 1 \times 1,1438^3 = 0,1247 \text{ m}^4$$

$$E_{\text{plane strain}} = \frac{E \times I}{I_{\text{plane strain}}} = \frac{326134,972}{0,12470} = 2615319,30 \text{ kN m}^2$$

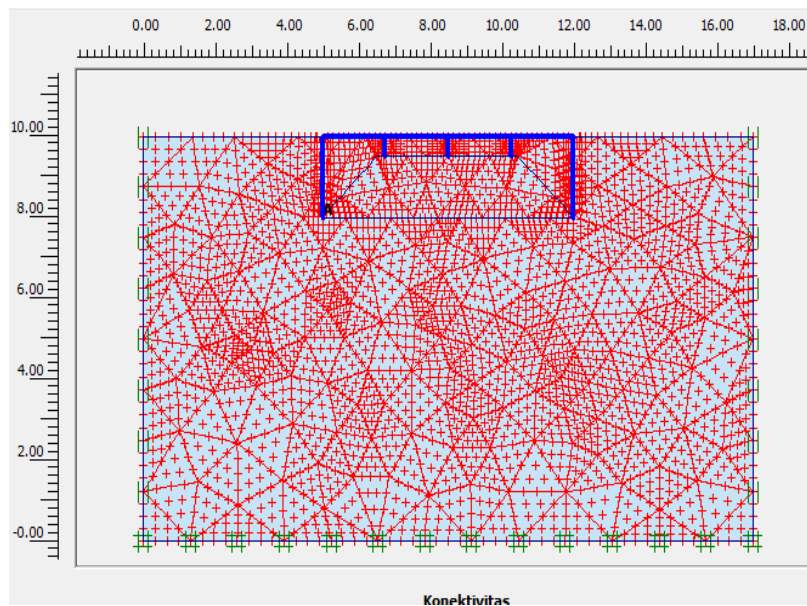
$$E I_{\text{model}} = \frac{E_{\text{plane strain}} \times I_{\text{plane strain}}}{3,5} = 93181,42053 \text{ kN m}^2/\text{m}$$

$$E A_{\text{model}} = \frac{E_{\text{plane strain}} \times A_{\text{plane strain}}}{3,5} = 854688,7229 \text{ kN/m}$$

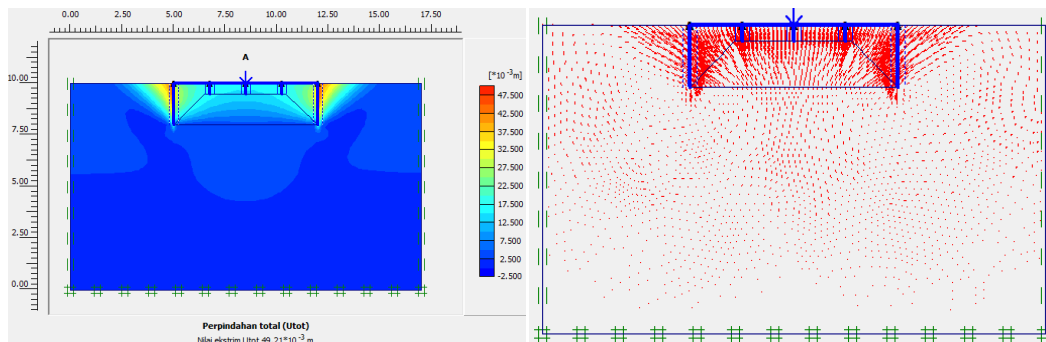
Tabel 4. 1 Parameter *input* material pelat pada Plaxis untuk dimensi jaring laba-laba Dp 200 cm, tp 10 cm, Dk 50 cm dan tk 10 cm

Parameter	Satuan	Pelat	Rib Tengah/ Konstruksi	Rib Tepi
$EI$	$\text{kN m}^2/\text{m}$	93181,42	1784,13	1784,13
$EA$	$\text{kN/m}$	854688,72	61170,05	61170,05
$w$	$\text{kN/m/m}$	6,52	1,09	1,09
$\nu$		0,15	0,15	0,15

Sumber: Hasil perhitungan, 2018



Gambar 4. 4 Model simetri Plaxis 2D prototip struktur jaring laba-laba (Dp 200 cm, tp 10 cm, Dk 50 cm dan tk 10 cm)



Gambar 4. 5 *Displacement* total pada beban  $P_1 = 10$  t dan dimensi Dp 200 cm, tp 10 cm, Dk 50 cm dan tk 10 cm dengan Plaxis 2D

### C. Pemodelan Plaxis 2D

Setelah menghitung nilai-nilai kekauan EI dan EA untuk model pada Plaxis 2D, kemudian data tersebut di input ke Plaxis dan dilakukan perhitungan. Model ilustrasi pada Plaxis dapat dilihat pada Gambar 4. 4. Hasil perhitungan *Displacement*/deformasi yang diambil yaitu *displacement* maksimum pada pelat/slab struktur jaring laba-laba (jika dilihat pada Gambar 4. 4 deformasi yang ditinjau pada koodinat  $y = 10$ ). Contoh keluaran Plaxis 2D dapat dilihat seperti pada Gambar 4. 5.

## 4.2 Variasi tebal dan panjang rib-rib

Hasil *running* Plaxis 2D dari variasi dimensi tebal dan panjang *rib-rib* struktur jaring laba-laba terdapat banyak data, untuk dapat melihat fenomena deformasi yang terjadi oleh sebab itu dibuat grafik hubungan antara variasi kedalaman rib konstruksi/tengah ( $D_k$ ) versus *displacement*/deformasi maksimum dan hubungan (Gambar 4. 6 hingga Gambar 4. 17). Dari hubungan tersebut dapat dilihat perbedaan-perbedaan yang terjadi, khususnya dengan diberi tipe dan besar pembebanan yang berbeda.

### 4.2.1 Variasi tebal dan panjang rib konstruksi

Grafik hubungan antara *displacement*/deformasi maksimum dan variasi kedalaman rib konstruksi ( $D_k$ ) berdasarkan Gambar 4. 6 yaitu *dry density*  $1,2 \text{ t/m}^3$  dan posisi beban merata penuh di atas pondasi ( $q \text{ A}$ ), dengan tebal rib tepi ( $tp$ ) yang tetap, menunjukkan bahwa semakin besar tebal rib tengah ( $tk$ ) maka *displacement*/deformasi maksimum yang terjadi akan semakin besar pula dan semakin besar beban yang diberikan *displacement*/deformasinya pun juga semakin besar. Begitu pula dengan variasi kedalaman rib tengah ( $D_k$ ) , yaitu semakin dalam rib tengah *displacement*/deformasi maksimum juga akan semakin besar. Hal ini juga sama seperti yang terjadi pada pemberian tipe beban  $q \frac{1}{2} \text{ A}$  (Gambar 4. 7). Sementara untuk pembebanan terpusat dapat dilihat pada Gambar 4. 8 dan Gambar 4. 9.

Berdasarkan Gambar 4. 8, beban terpusat di tengah pondasi ( $P_1$ ), menunjukkan bahwa kedalaman rib tengah ( $D_k$ ) memberikan pengaruh yang cukup terlihat, seperti halnya pada pemberian beban merata. Semakin besar kedalaman rib tengah ( $D_k$ ) maka *displacement*/deformasi maksimum akan semakin besar, akan tetapi perbedaan *displacement*/deformasi maksimum yang terjadi cukup kecil. Dilihat dari nilai maksimum yang berkisar antara  $\pm 0,6$  sampai  $0,8 \text{ cm}$  untuk kedalaman tepi ( $D_p$ )  $200 \text{ cm}$ . Artinya selisih deformasinya hanya  $\pm 2 \text{ mm}$ , bisa dikatakan sangat kecil. Begitu pula dengan penambahan tebal rib tengah

(*tk*), dengan pemberian besar beban yang sama, semakin besar tebal rib tengah/konstruksi (*tk*) maka *displacement*/deformasi maksimum semakin besar. Penambahan besarnya beban terpusat di tengah pondasi ini tidak menunjukkan beda *displacement*/deformasi maksimum yang signifikan seperti halnya pada saat pembebanan diberikan di tepi pondasi.

Beban terpusat di tepi pondasi (P2), seperti pada Gambar 4. 9 menunjukkan perbedaan *displacement*/deformasi maksimum yang lebih besar dari pada beban di tengah pondasi (P1). Untuk setiap penambahan variasi nilai beban yang diberikan, pada saat diberi beban 10 ton, variasi kedalaman rib tengah (*Dk*) tidak memberikan pengaruh sama sekali yang ditunjukkan dari bentuk kurva yang hampir lurus. Begitu pula pada saat diberi beban 15 ton, hanya saja pada saat kedalaman rib tepi 200 *cm*, menunjukkan bahwa semakin besar kedalaman rib tengah (*Dk*), *displacement*/deformasi maksimum mengecil dan ini hanya terjadi pada kedalaman rib tepi (*Dp*) 200 *cm*. Variasi tebal rib tengah (*tk*) juga tidak berpengaruh pada pemberian tipe beban ini.

Berdasarkan keempat variasi beban tersebut, dengan *dry density* 1,2 t/m<sup>3</sup> dan pemberian beban garis atau terpusat yang berada di tepi pondasi, *displacement*/deformasi maksimum yang terjadi lebih besar dari pada yang lainnya. Kemudian dari penjelasan-penjelasan di atas juga menunjukkan bahwa kedalaman rib tengah (*Dk*) lebih berpengaruh jika pondasi menerima beban merata. Dan tebal rib tengah (*tk*) lebih terlihat berpengaruh juga pada pemberian beban merata.



#### 4.2.2 Variasi tebal dan panjang rib tepi (*peripheric*)

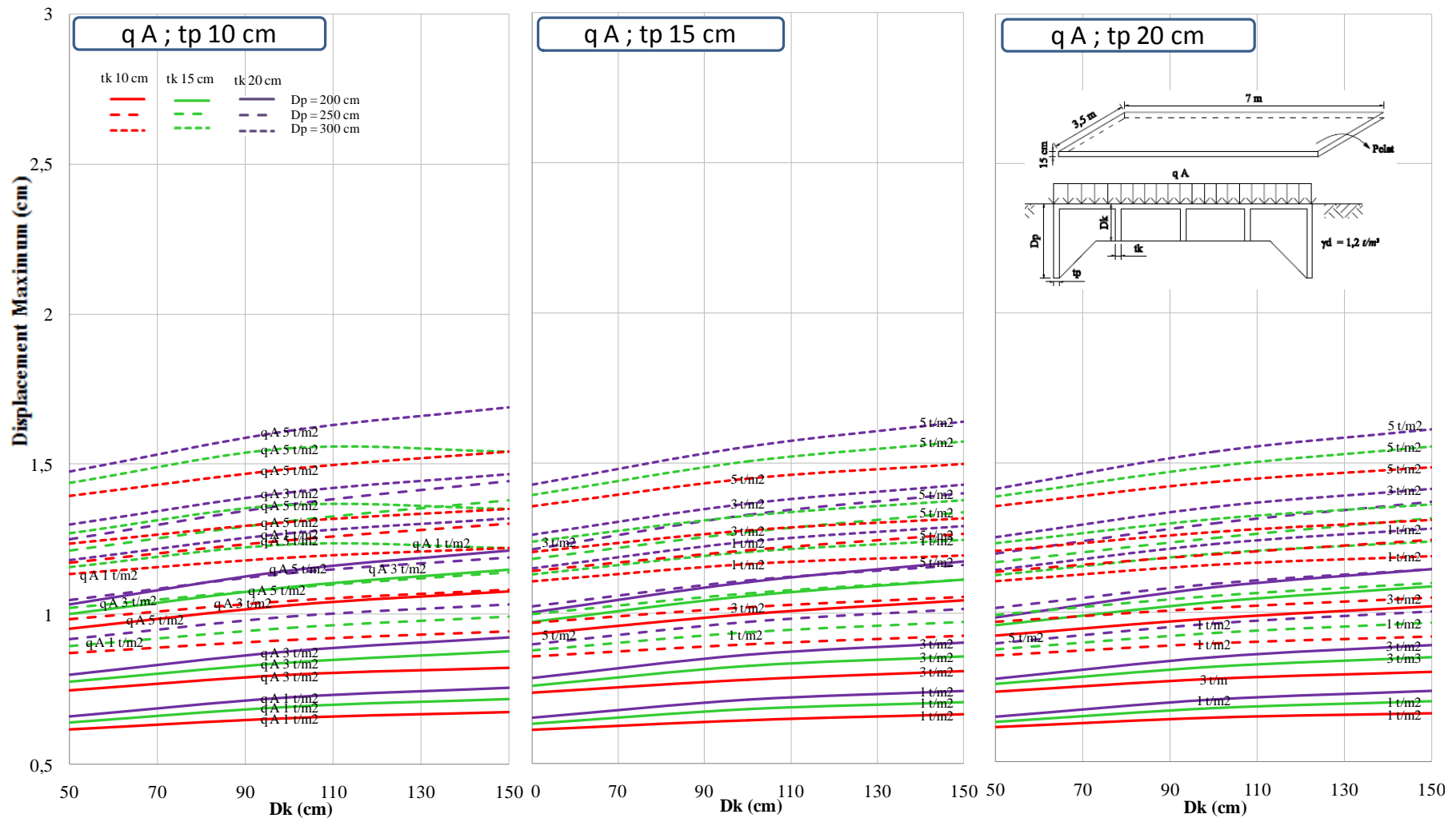
Grafik hubungan antara *displacement*/deformasi maksimum dan variasi kedalaman rib konstruksi (*Dk*) berdasarkan Gambar 4. 6 yaitu dengan *dry density*  $1,2 \text{ t/m}^3$  dan posisi beban merata penuh di atas pondasi ( $q \text{ A}$ ), untuk tebal rib tepi (*tp*) tetap dan nilai beban yang sama, menunjukkan bahwa semakin besar kedalaman rib tepi (*Dp*) maka *displacement*/deformasi maksimum yang terjadi akan semakin besar pula. Disamping itu untuk variasi tebal rib tepi (*tp*), menunjukkan *displacement*/deformasi maksimum yang tidak signifikan (Lampiran 1E). Begitu pula dengan tipe beban merata sebagian ( $q \frac{1}{2} \text{ A}$ ) pada Gambar 4. 7. Pengaruh kedalaman rib tepi (*Dp*) lebih besar dibandingkan dengan pengaruh tebal rib tengah (*tk*), hal ini terlihat dari beda *displacement*/deformasi yang terjadi (seperti pada Gambar 4. 6 dan Gambar 4. 7). Pada kedalaman rib tepi (*Dp*) yang sama (contoh  $200 \text{ cm}$ ) dengan tebal rib tengah (*tk*) bervariasi (ditandai dengan warna yang berbeda pada Gambar 4. 6 dan Gambar 4. 7), beda *displacement*/deformasi yang terjadi untuk setiap variasi sekitar  $\pm 0,05 \text{ cm}$ . Sementara untuk variasi kedalaman rib tepi (*Dp*), pada tebal rib tengah (*tk*) yang sama (contoh  $15 \text{ cm}$ ), beda *displacement*/deformasi yang terjadi bisa mencapai  $\pm 0,3 \text{ cm}$ .

Pada posisi beban di tengah pondasi ( $P1$ ) (Gambar 4. 8), untuk besar beban dan kedalaman rib tengah (*Dk*) yang sama, semakin besar kedalaman rib tepi (*Dp*) *displacement*/deformasi maksimum yang terjadi akan semakin besar. Hal ini terlihat dari kurva yang membentuk kelompok-kelompok dengan jenis garis yang berbeda yaitu jenis garis yang putus-putus kecil, putus-putus besar dan garis yang tidak putus-putus, jenis garis ini menandakan besaran kedalaman rib tepi (*Dp*).

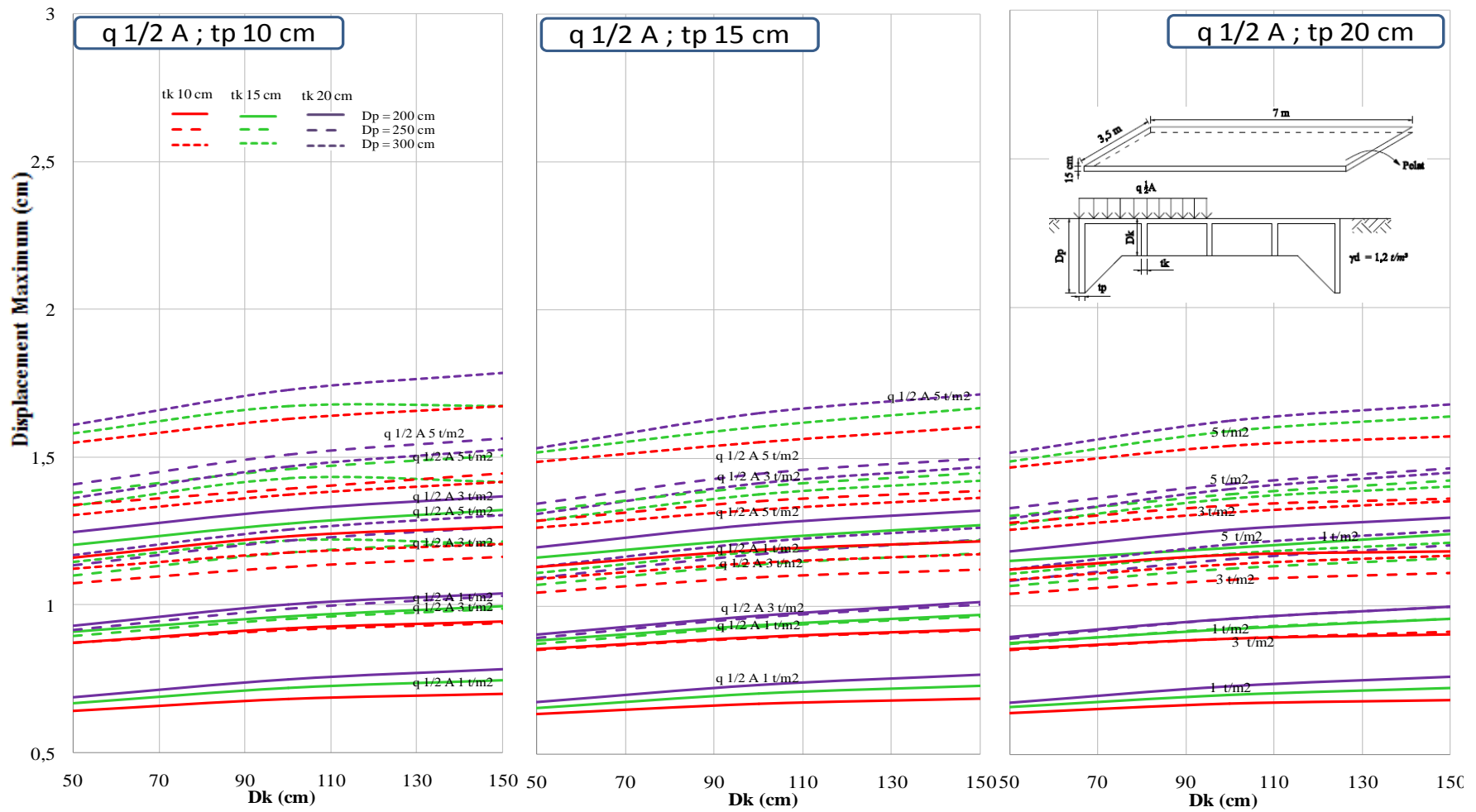
Begitu pula untuk posisi beban di tepi pondasi ( $P2$ ), variasi kedalaman rib tepi (*Dp*) menunjukkan pengaruh, hanya saja tidak sebesar seperti yang terjadi pada tipe beban yang lainnya. Bahkan beberapa kondisi menunjukkan tidak berpengaruh sama sekali. Seperti yang terlihat pada Gambar 4. 9, pada saat besar beban yang diberi  $20 \text{ ton}$  di tepi pondasi, garis-garis pada grafik sangat dekat sekali. Hal ini menandakan bahwa beda *displacement*/deformasi yang terjadi sangat kecil sekali bahkan bisa mencapai  $< 5 \%$ . Kemudian berdasarkan Gambar

4. 9 tersebut juga terlihat bahwa tebal rib tepi mulai memberikan pengaruh terhadap *displacement*/deformasi yang terjadi. Hal ini berbeda dengan tipe beban lainnya. Pada gambar menunjukkan bahwa semakin besar tebal rib tepi (tp), *displacement*/deformasi maksimum yang terjadi semakin kecil. Hal ini terlihat jelas pada saat diberi beban 20 ton.

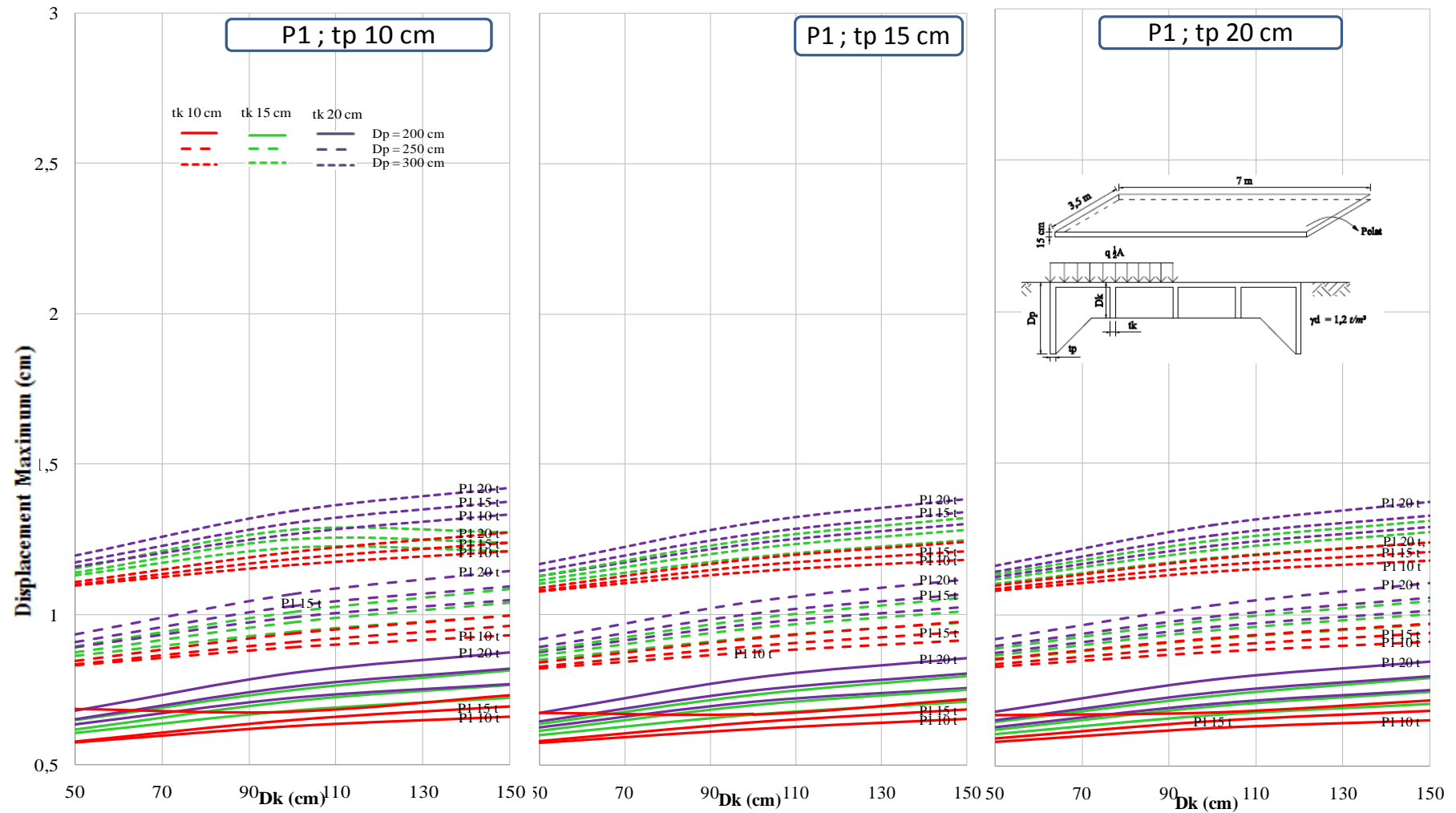
Dari beberapa pembahasan di atas, secara umum dapat dilihat bahwa variasi tebal rib tepi tidak berdampak terlalu besar terhadap *displacement*/deformasi maksimum meskipun rib konstruksi/tengah divariasikan selama kedalaman rib tepi ( $D_p$ ) tetap. Tetapi variasi besar kedalaman rib tepi ( $D_p$ ) justru menunjukkan dampak yang berarti terhadap *displacement*/deformasi. Dan tipe beban juga menunjukkan pengaruh terhadap *displacement*/deformasi maksimum yang terjadi, khususnya pada beban terpusat di tepi pondasi.



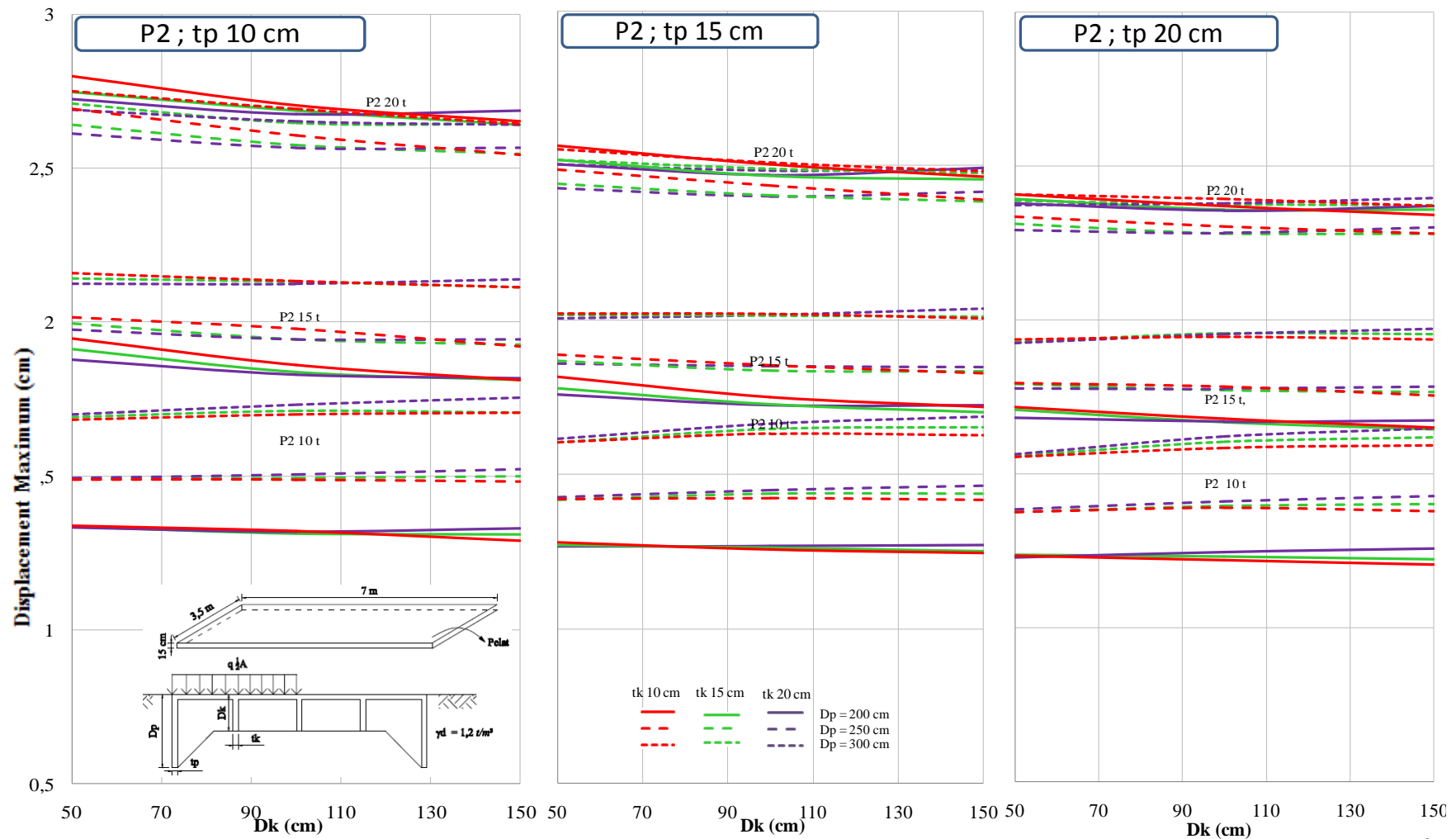
Gambar 4. 6 Grafik *displacement* versus kedalaman rib tengah ( $D_k$ ) dengan pembeban merata penuh di atas pondasi ( $q_A$ ) untuk *dry density* 1,2 t/m<sup>3</sup>.



Gambar 4. 7 Grafik *displacement* versus kedalaman rib tengah ( $Dk$ ) dengan pembebanan merata sebagian di atas pondasi ( $q \frac{1}{2} A$ ) untuk *dry density*  $1,2 t/m^3$ .



Gambar 4. 8 Grafik *displacement* versus kedalaman rib tengah (*Dk*) dengan pembeban terpusat di tengah pondasi (P1) untuk *dry density*  $1,2 \text{ t/m}^3$ .



Gambar 4. 9 Grafik *displacement* versus kedalaman rib tengah (Dk) dengan pembeban terpusat di tepi pondasi (P2) untuk *dry density*  $1,2 \text{ t/m}^3$ .

### 4.3 Variasi jenis tanah asli di sekitar pondasi

Berdasarkan perbandingan Gambar 4. 6 hingga Gambar 4. 17, terlihat bahwa *displacement*/deformasi maksimum untuk variasi elemen struktur jaring laba-laba terhadap jenis tanah soft hingga medium umumnya menunjukkan hampir sama, yang membedakan adalah besarnya *displacement*/deformasi maksimum yang terjadi. Semakin besar *dry density* tanah maka deformasi yang terjadi akan semakin kecil dan terlihat bahwa pada *dry density* paling kecil yaitu  $0,8 \text{ t/m}^3$ , beda *displacement*/deformasi maksimum yang terjadi untuk setiap penambahan besarnya beban lebih besar daripada *dry density*  $1,0 \text{ t/m}^3$  dan  $1,2 \text{ t/m}^3$ . Dengan kata lain semakin keras jenis tanah dasarnya maka beda *displacement*/deformasi maksimum atau pengaruh *displacement*/deformasi maksimum yang terjadi akan semakin kecil atau tidak memberikan pengaruh yang terlalu signifikan. Akan tetapi, apabila melihat perbandingan Gambar 4. 14 Grafik *displacement* versus kedalaman rib tengah (*Dk*) dengan pembebanan merata penuh di atas pondasi (*q A*) untuk *dry density*  $0,8 \text{ t/m}^3$  hingga Gambar 4. 17, pada *dry density*  $0,8 \text{ t/m}^3$ , *displacement*/deformasi maksimum yang terjadi sangat jauh lebih besar daripada *dry density*  $1,0 \text{ t/m}^3$  dan  $1,2 \text{ t/m}^3$ . Hal ini terlihat jelas pada tipe beban terpusat di tepi pondasi (*P2*).

Jika *dry density*  $1,2 \text{ t/m}^3$  *dry density*  $1,0 \text{ t/m}^3$  dengan posisi beban merata penuh di atas pondasi (*q A*), untuk tebal rib tepi (*tp*) tetap dan nilai beban yang sama, menunjukkan bahwa semakin besar kedalaman rib tepi (*Dp*) maka *displacement*/deformasi maksimum yang terjadi akan semakin besar

Begitu pula pada pembebanan dengan posisi beban merata sebagian di atas pondasi ( $q \frac{1}{2} A$ ), jika pada *dry density*  $1,2 \text{ t/m}^3$  *dry density*  $1,0 \text{ t/m}^3$  kedalaman rib tengah/konstruksi (*Dk*) tidaklah memberi pengaruh yang besar (Gambar 4. 7 dan Gambar 4. 11), pada *dry density*  $0,8 \text{ t/m}^3$  justru menjadi cukup berpengaruh (Gambar 4. 15). Hal ini terlihat bahwa semakin besar kedalaman rib tengah/konstruksi (*Dk*) maka *displacement*/deformasi maksimum akan semakin besar, seiring dengan semakin besarnya tebal rib tengah/konstruksi (*tk*).

#### 4.4 Analisis pengaruh variasi elemen struktur jaring laba-laba terhadap *displacement*/deformasi maksimum.

Berdasarkan perhitungan numerik dengan Plaxis 2D, posisi *displacement*/deformasi maksimum yang terjadi tepat berada pada rib tepi (Lampiran 2). Hal tersebut terjadi pada semua tipe beban yang diberikan. Namun apabila posisi beban di tepi, *displacement*/deformasi maksimum terjadi tepat pada rib tepi yang diberi beban tersebut. Jika beban di tengah pondasi, *displacement*/deformasi maksimum berada pada sisi rib-rib tepi yaitu bagian kanan dan kirinya. Pada kondisi ekstrim untuk tanah yang lunak dengan *dry density*  $0,8 \text{ t/m}^3$ , besarnya *displacement*/deformasi maksimum bisa mencapai  $\pm 25 \text{ cm}$  untuk beban terpusat di tepi (P2) (Gambar 4. 17). Dengan *displacement* yang besar tersebut tentu kondisi jalan di atasnya sudah membuat pengguna jalan sangat tidak nyaman dikarenakan sudah terjadi kemiringan yang sangat ekstrim. Hal ini dikarenakan kondisi tanah yang lunak dan posisi beban hanya di salah satu tepi pondasi, sehingga yang mengalami deformasi hanya di salah satu sisi pondasi dan sisi yang lainnya mengalami kenaikan atau dalam kondisi naik akibat dorongan tanah di bawahnya (mengalami jungkit di sisi lainnya).

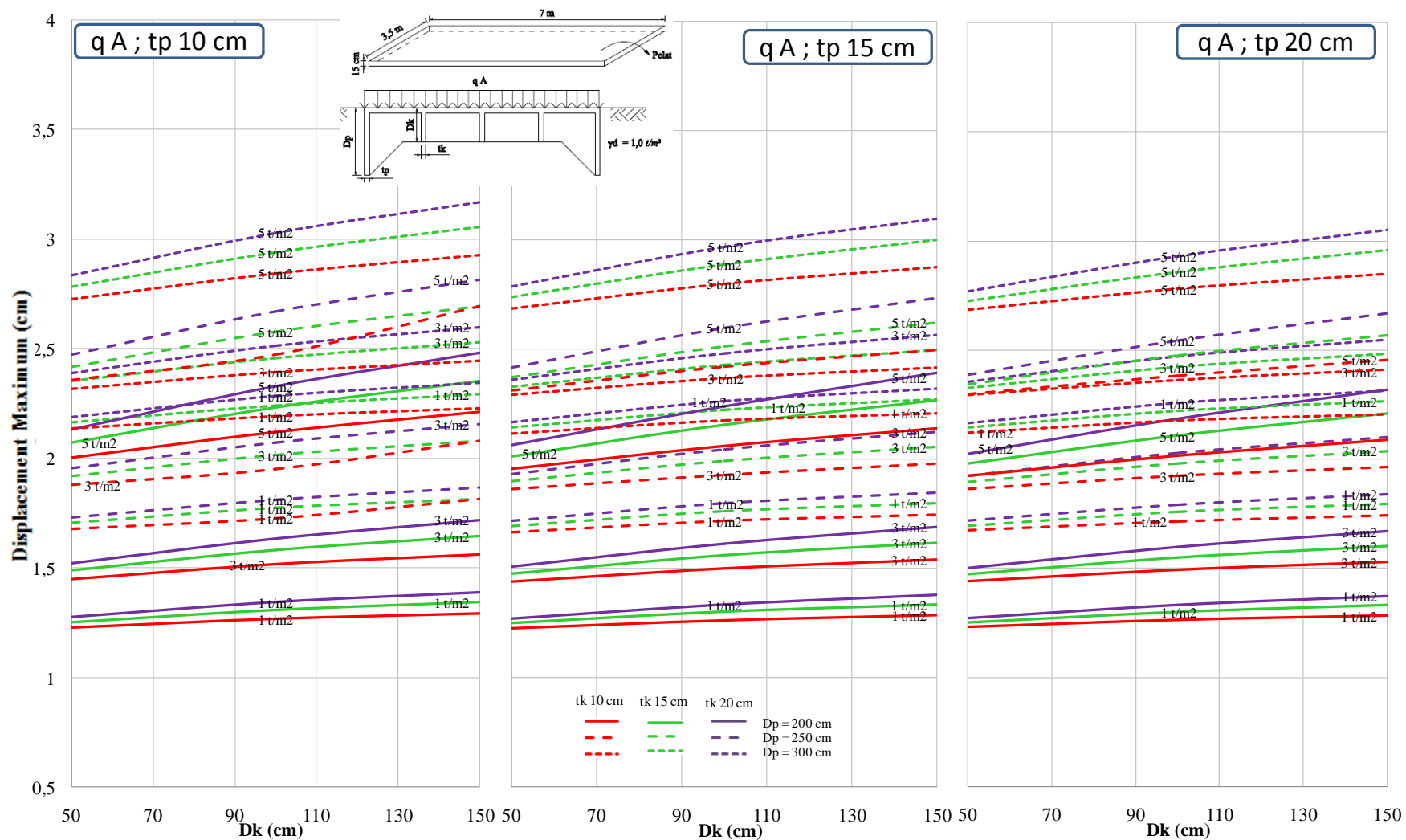
Berdasarkan Gambar 4. 17 yaitu kondisi yang sangat ekstrim, terlihat bahwa pada beban yang sangat besar dan berada di atas tanah yang *soft* (*dry density*  $0,8 \text{ t/m}^3$ ) serta posisi beban di tepi pondasi (P2), kedalaman rib tepi (Dp) berperan penting dalam mengurangi besarnya *displacement*/deformasi maksimum yang terjadi. Hal ini tidak berlaku jika beban yang diberikan  $< 20 \text{ ton}$ .

Secara umum, dimensi struktur jaring laba-laba yang akan digunakan tergantung dari kebutuhan yang diperlukan. jika dilihat berdasarkan *displacement*/deformasi ijin saja, maka pada kondisi tanah yang lunak tentunya tidak mudah untuk mencapai kondisi ijin tersebut sebelum dilakukan perbaikan tanah. Apalagi untuk perkerasan jalan pada jalan kelas 1 yang akan dipergunakan semua jenis kendaraan hingga kendaraan berat sekalipun. Setelah dilihat berdasarkan hasil yang ada, jika dimensi struktur jaring laba-laba yang digunakan terlalu kecil, memang *displacement*/deformasi yang terjadi juga kecil akan tetapi

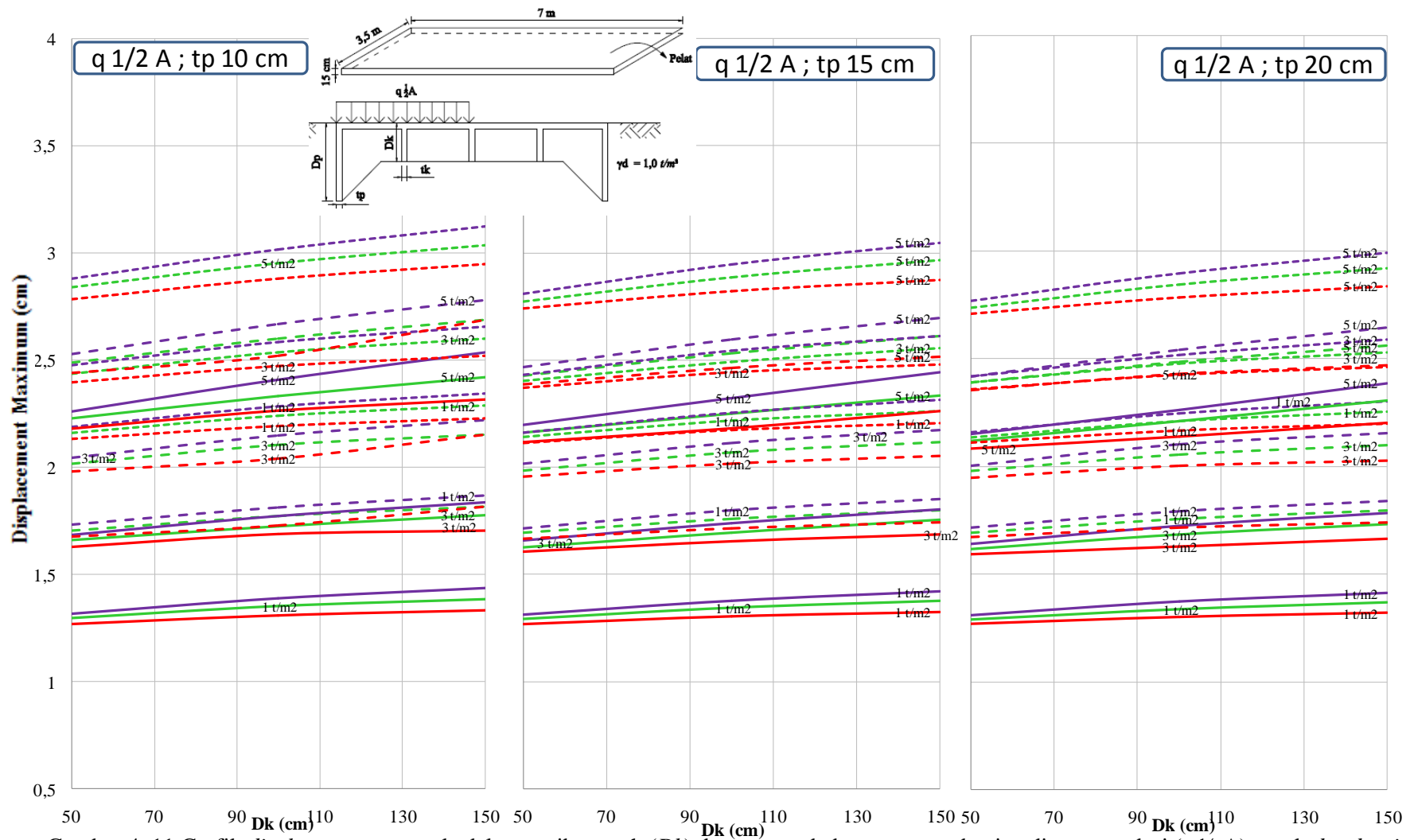


semakin besar beban yang diberikan juga mengakibatkan deformasi membesar bahkan struktur jaring laba-laba tidak mampu menopang beban yang berakibat rib bahkan slab dari struktur jaring laba-laba ini rusak. Begitupun jika terlalu besar juga menjadikan deformasi membesar.

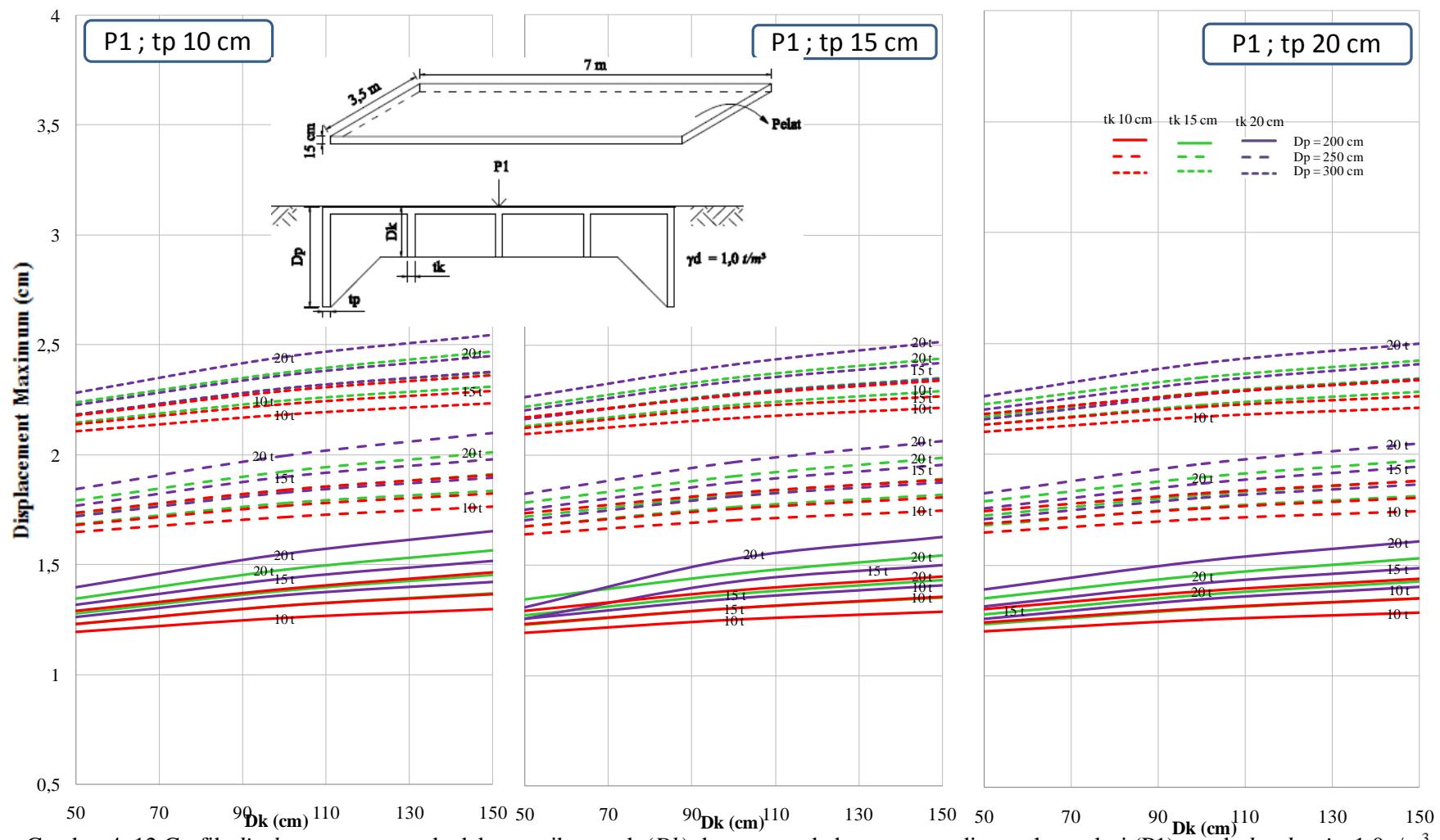
Sehingga untuk penggunaan jalan kelas 1 (beban  $> 10$  ton), apabila tanah dasar cukup baik tidak perlu menggunakan dimensi yang paling besar cukup gunakan dimensi yang memperhitungkan kemudahan dalam pelaksanaan dan ekonomis yaitu rib tengah dengan tebal (tk) antara 10 – 15 *cm* dan dalamnya (Dk) antara 100 – 150 *cm* serta rib tepi dengan tebal (tp) 10 – 15 *cm* dan kedalaman (Dp) 200 – 250 *cm*. Akan tetapi jika kondisi tanah dasar jelek dan beban yang akan diterima 20 ton atau mungkin bisa lebih, perlu memperbesar kedalaman rib tepi (Dp) hingga 300 *cm*.



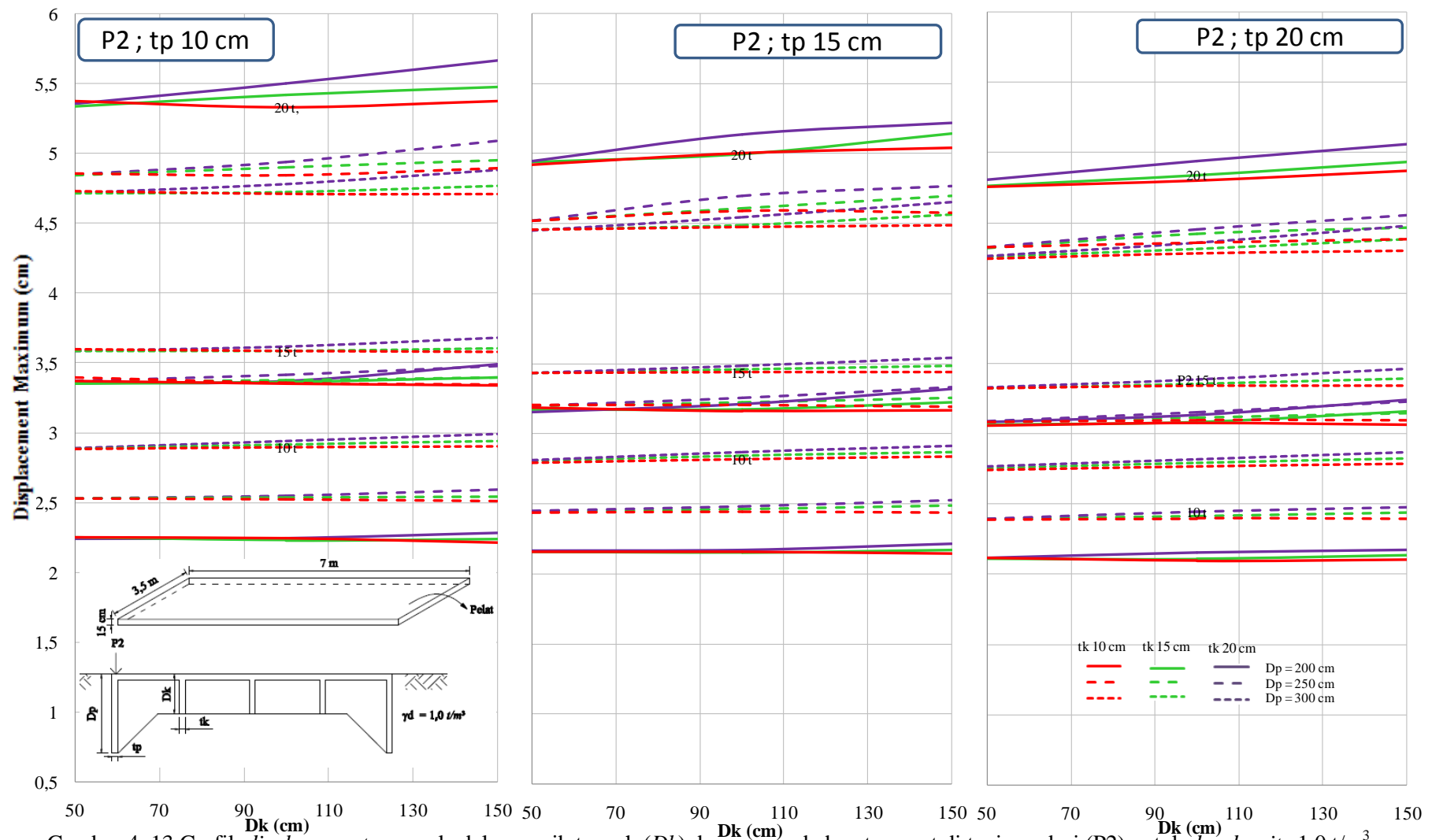
Gambar 4. 10 Grafik *displacement* versus kedalaman rib tengah ( $D_k$ ) dengan pembebanan merata penuh di atas pondasi ( $q_A$ ) untuk *dry density* 1,0  $\text{t/m}^3$ .



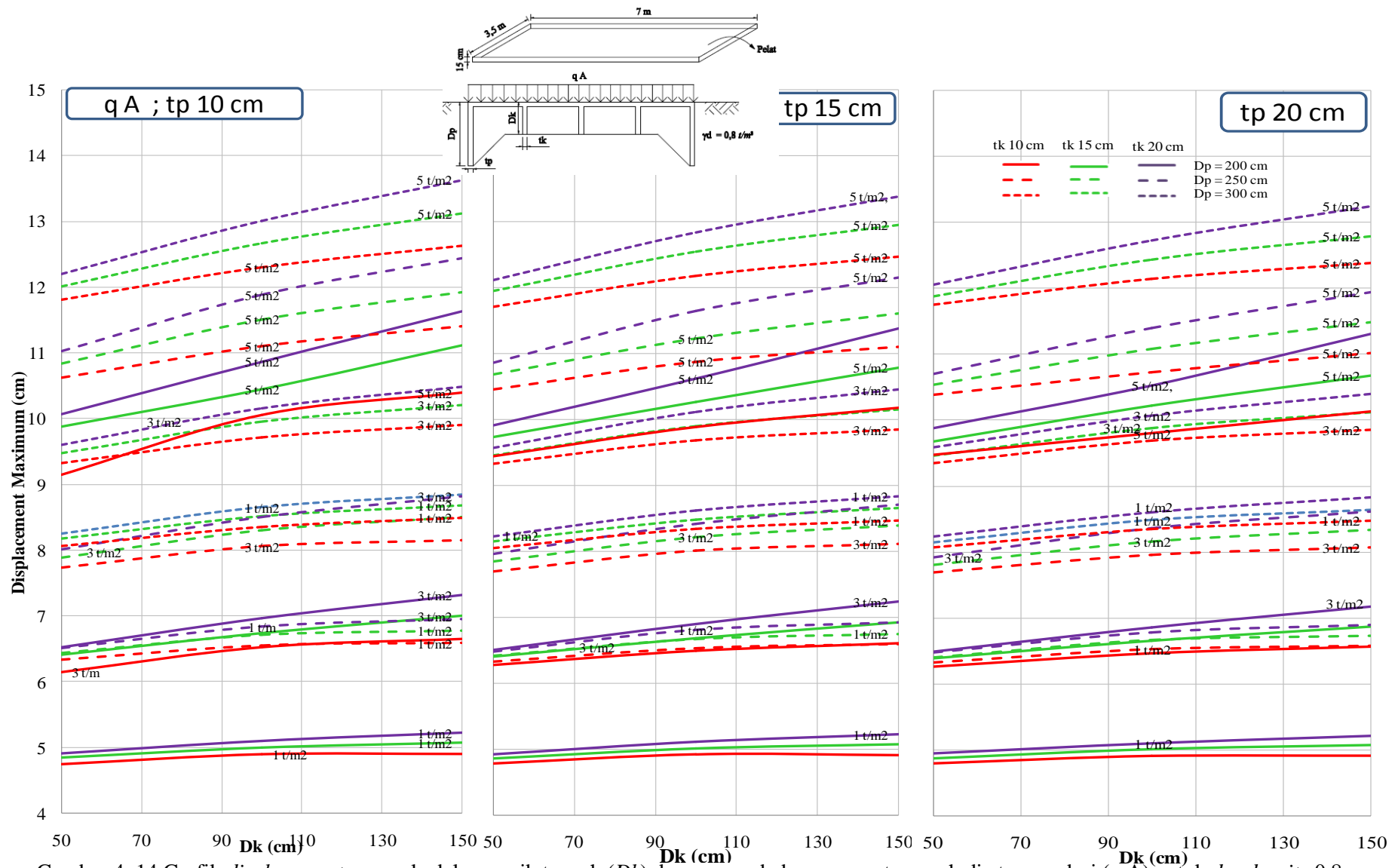
Gambar 4. 11 Grafik *displacement* versus kedalaman rib tengah ( $D_k$ ) dengan pembebanan merata sebagian di atas pondasi ( $q \frac{1}{2} A$ ) untuk *dry density*  $1,0 \text{ t/m}^3$ .



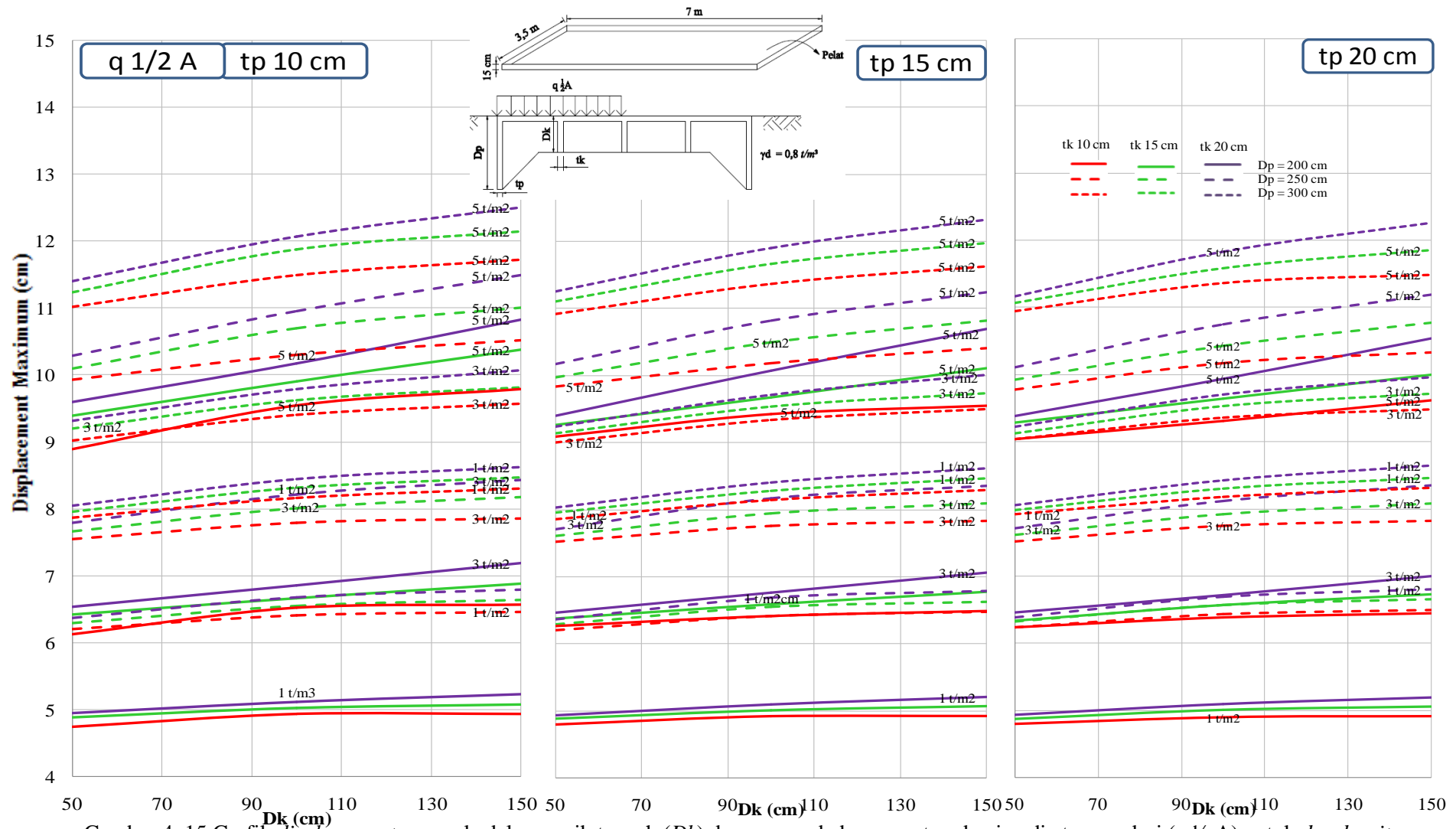
Gambar 4. 12 Grafik *displacement* versus kedalaman rib tengah ( $D_k$ ) dengan pembeban terpusat di tengah pondasi (P1) untuk *dry density*  $1,0 \text{ t/m}^3$ .



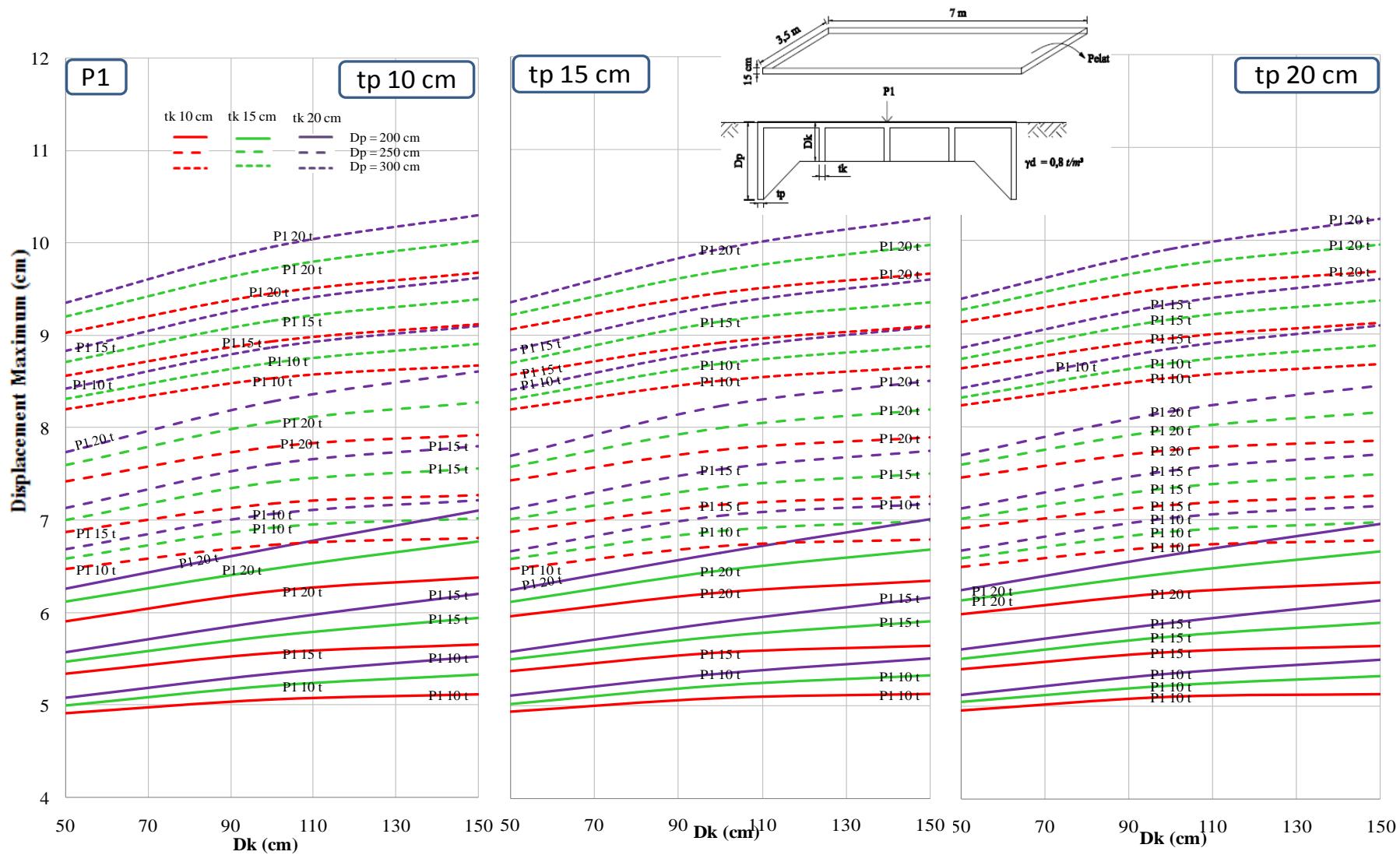
Gambar 4. 13 Grafik *displacement* versus kedalaman rib tengah (Dk) dengan pembebanan terpusat di tepi pondasi (P2) untuk *dry density*  $1,0 \text{ t/m}^3$ .



Gambar 4. 14 Grafik *displacement* versus kedalaman rib tengah ( $D_k$ ) dengan pembebanan merata penuh di atas pondasi ( $q_A$ ) untuk *dry density* 0,8  $t/m^3$ .



Gambar 4. 15 Grafik *displacement* versus kedalaman rib tengah ( $D_k$ ) dengan pembeban merata sebagian di atas pondasi ( $q \frac{1}{2} A$ ) untuk *dry density*  $0,8 \text{ t/m}^3$ .



Gambar 4. 16 Grafik *displacement* versus kedalaman rib tengah ( $D_k$ ) dengan pembebanan terpusat di tengah pondasi ( $P_1$ ) untuk *dry density*  $0,8 \text{ t/m}^3$ .





*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisa pada studi parametrik elemen-elemen struktur jaring laba-laba sebagai perkerasan jalan di atas tanah lunak, dengan menggunakan pemodelan Plaxis 2D, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

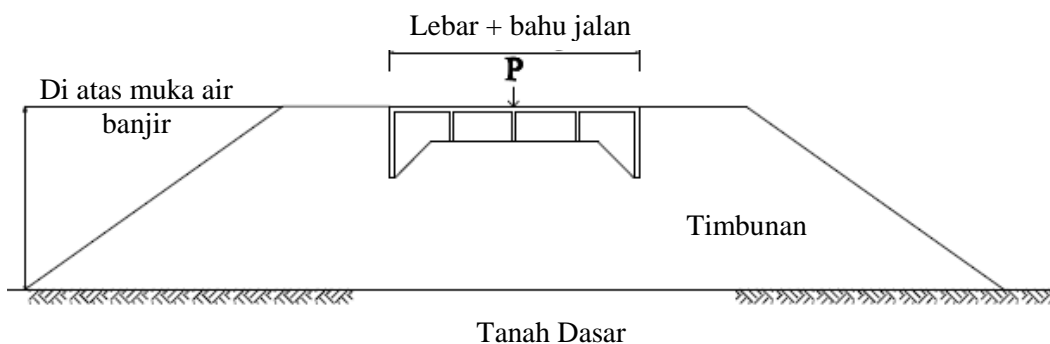
1. Semakin keras tanah dasarnya menunjukkan untuk setiap penambahan beban dari 10 hingga 20 ton, memberikan beda *displacement*/deformasi yang semakin kecil. Dengan demikian disarankan pengaplikasian struktur jaring laba-laba, sebaiknya digunakan untuk tanah dasar dengan *dry density*  $\geq 1,0 \text{ t/m}^3$ .
2. Posisi beban mempengaruhi amplitude *displacement*/deformasi yang terjadi. Untuk beban terpusat sangat besar dan terjadi pada salah satu sisi tepi pondasi, mengakibatkan pondasi tidak stabil dan mengalami kemiringan yang cukup signifikan. Bila dimensi struktur laba-laba relatif mengakibatkan jungkit di sisi lain pondasi. Hal ini sangat terlihat pada tanah dasar yang lunak dengan *dry density*  $0,8 \text{ t/m}^3$ . Sehingga untuk mencegah terjadinya jungkit tersebut kedalaman rib tepi (Dp) sebaiknya diperpanjang hingga 300 cm.
3. Dimensi struktur jaring laba-laba yang akan digunakan tergantung dari kebutuhan yang diperlukan. Jika dilihat berdasarkan *displacement*/deformasi ijin, maka pada kondisi tanah yang lunak tentunya tidak mudah untuk mencapai kondisi ijin tersebut sebelum dilakukan perbaikan tanah. Oleh karena itu untuk penggunaan jalan kelas 1 (beban  $> 10 \text{ ton}$ ), apabila tanah dasar cukup baik tidak perlu menggunakan dimensi yang paling besar, melainkan cukup gunakan dimensi yang memperhitungkan kemudahan pelaksanaan dan ekonomis yaitu rib tengah dengan tebal (tk) antara 10 – 15 cm dan dalamnya (Dk) antara 100 – 150 cm serta rib tepi dengan tebal (tp) 10 – 15 cm dan kedalaman (Dp) 200 - 250 cm. Akan tetapi jika kondisi tanah dasar jelek dan beban yang akan diterima 20 ton, perlu memperpanjang kedalaman rib tepi (Dp) hingga 300 cm.

4. Dari keempat element struktur jaring laba-laba yaitu kedalaman rib tepi (Dp), tebal rib tepi (tp), kedalaman rib tengah (Dk) dan tebal rib tengah (tk), yang paling memberikan pengaruh terhadap deformasi secara berturutan hingga tidak terlalu berpengaruh adalah  $Dp \rightarrow tk \rightarrow Dk \rightarrow tp$ .

## 5.2 Saran

Saran yang diberikan pada penelitian ini dan untuk pengembangan penelitian lanjutan (pemodelan selanjutnya):

1. Jalan baru maupun lama selalu memperhitungkan muka air banjir, dan membangun jalan di atas muka air banjir. Sehingga untuk pemodelan lanjutan sebaiknya lebih memperhatikan aspek-aspek tersebut seperti memasukkan lebar jalan dan bahu, berapa tinggi timbunan di atas muka air banjir dan sebagainya, agar lebih mendekati kondisi asli di lapangan (misal seperti pada gambar di bawah).
2. Untuk penelitian lanjutan dapat sekiranya menggunakan Plaxis 3D untuk hasil yang lebih akurat. Perlu diperhatikan aspek-aspek lainnya seperti pengaruh air tanah di sekitar pondasi, pengaruh beban dinamis atau gempa.



Gambar 5. 1 Saran untuk pemodelan selanjutnya

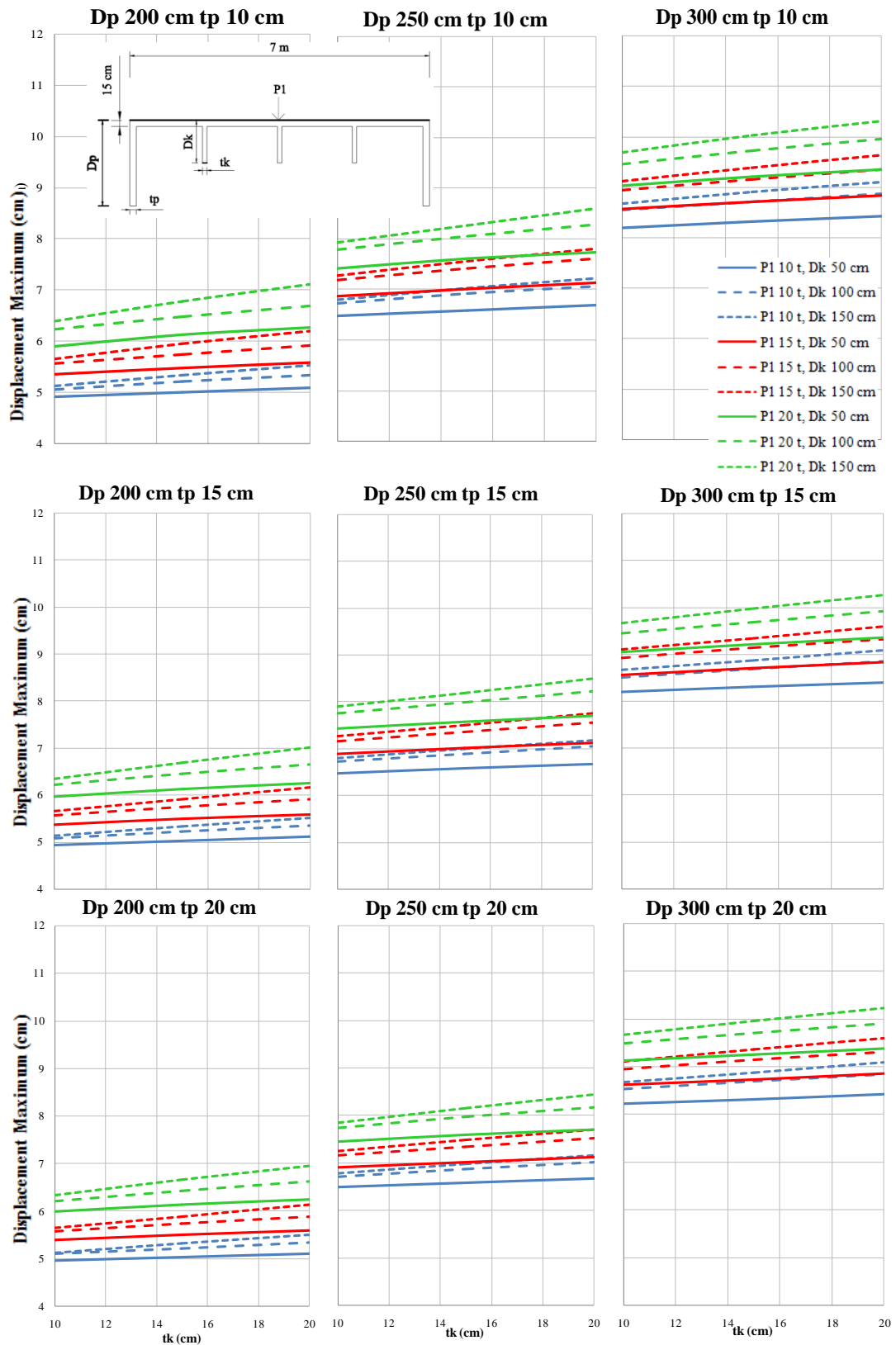
## DAFTAR PUSTAKA

- Budhu, M., (2011). “*SoilMechanicandFoundation*”, 3th Edition, John Wiley & Sons, USA.
- Darjanto, H., (2015). “Studi Mekanisme Transfer Beban pada Konstruksi Sarang Laba-laba Melalui Uji Beban Statis Vertikal Skala Penuh dan Analisis Numerik 3D”, Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Das, B. M., (2011). “*PrinciplesoffoundationEngineering*”, 7th Edition, Brooks/Cole, US.
- ElwakilA.Z. dan, W.R. Azzam, (2016). “*Experimental and numerical study of piled raft system*”, *Alexandria Engineering Journal* (2016) 55, 547-560. Alexandria.
- Kulhawy, F, H., and Mayne, P, W., (1990). “*Manual on Estimating Soil Properties for Foundation Design*”, Geotechnical Engineering Group, Ithaca, New York.
- Minna, K., (2009), “*Soil Parameter for Drained and Undrained Analysis*”, Module: Soil Modelling and Numerical Analysis. University of Glasgow.
- Mitchell, J.K., (1993). “*Fundamentals of Soil Behavior*”, Second edition, University of California, Berkeley. John Wiley & Sons, Inc.
- Paravita S.W danDaniel. T, (2015). “*Analysis of piled raft foundation on soft soil using PLAXIS 2D*”, *ProcediaEngineering* 125 ( 2015 ) 363 – 367.
- PLAXIS 2D, (2010). “*Manual PLAXIS 2D Versi 8*”, Delft. Belanda.
- Potts, David M., and Zdravkovic. L., (1999), “*Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering: Theory*”. Thomas Telford Books. London.

- Purwanto, S. S., (2012). “Konstruksi Pondasi Sarang Laba-laba atas Tanah Daya Dukung Rendah Bangunan Bertingkat Tanggung”, Jurnal Teknik Sipil Volume 12 Nomor 1, Oktober 2012. Yogyakarta.
- Smith, I. M, Griffith. D.V., (1982), “*Programming the Finite Element Method*”. 2nd Chisester UK. John Wiley & Sons.
- Tantri, P., (2008). “Analisa Pemodelan 3 Dimensi Sistem Struktur Gedung Dengan Pondasi Dangkal di atas Tanah Lunak yang Mengakibatkan Penurunan Konsolidasi Merata”, Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

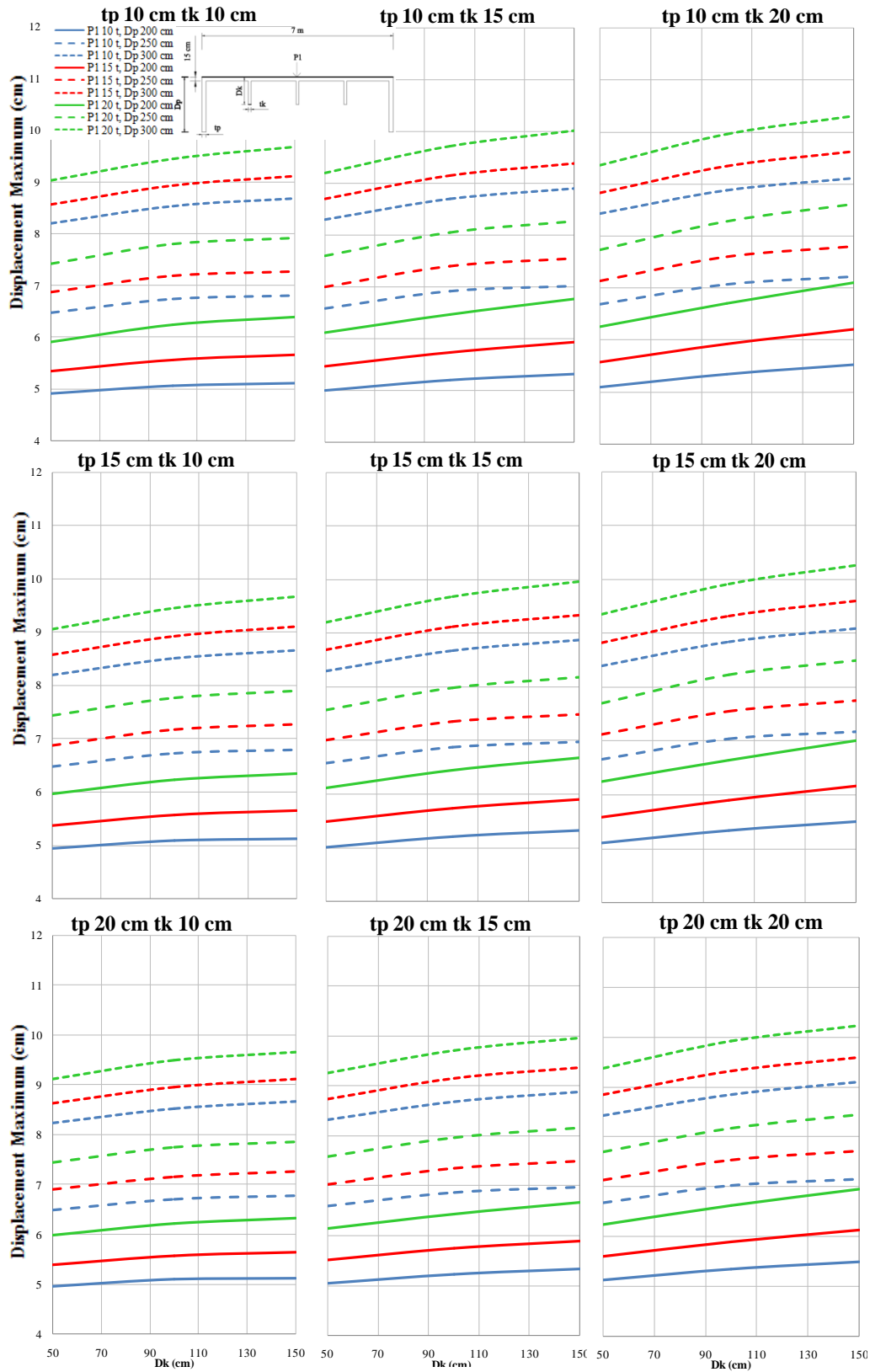
## Lampiran 1A

Grafik *displacement* versus tebal rib tengah (*tk*) dengan pembebanan terpusat di tengah pondasi (P1) untuk *dry density*  $0,8 \text{ t/m}^3$ .



## Lampiran 1B

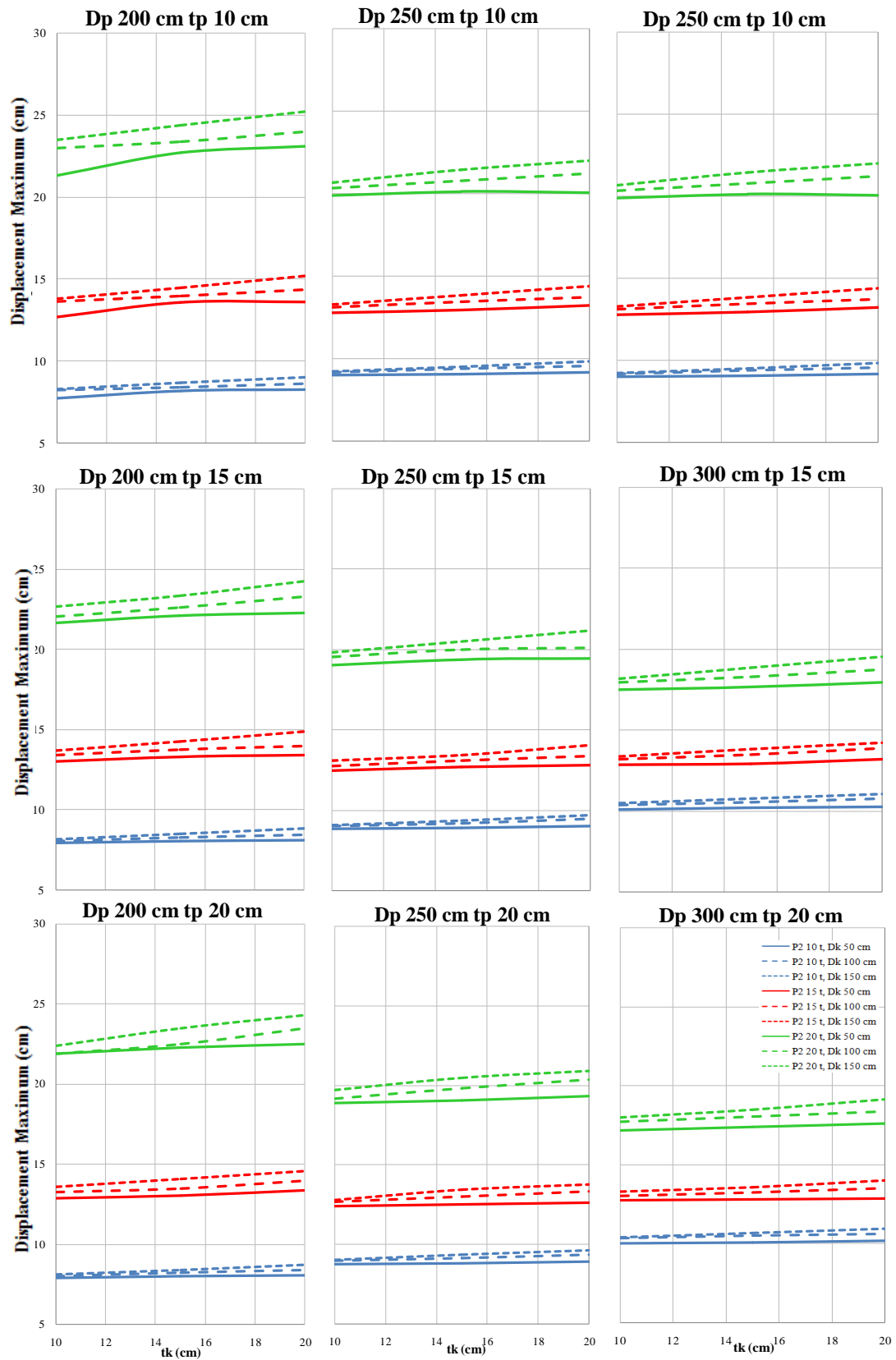
Grafik *displacement* versus kedalaman rib tengah ( $D_k$ ) dengan pembebanan terpusat di tengah pondasi (P1) untuk *dry density*  $0,8 \text{ t/m}^3$





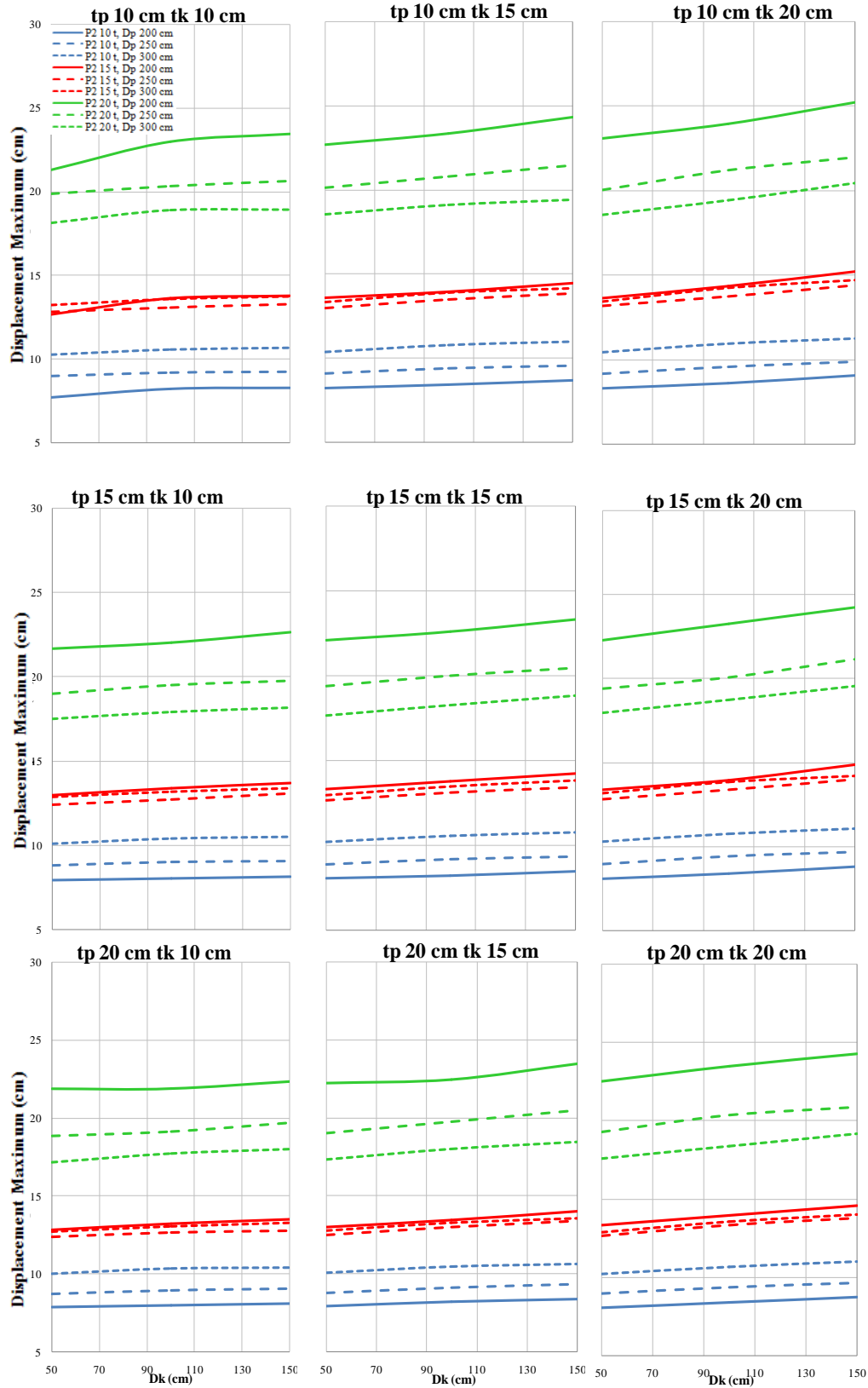
## Lampiran 1C

Grafik *displacement* versus tebal rib tengah (*tk*) dengan pembebanan terpusat di tepi pondasi (P2) untuk *dry density* 0,8 t/m<sup>3</sup>.



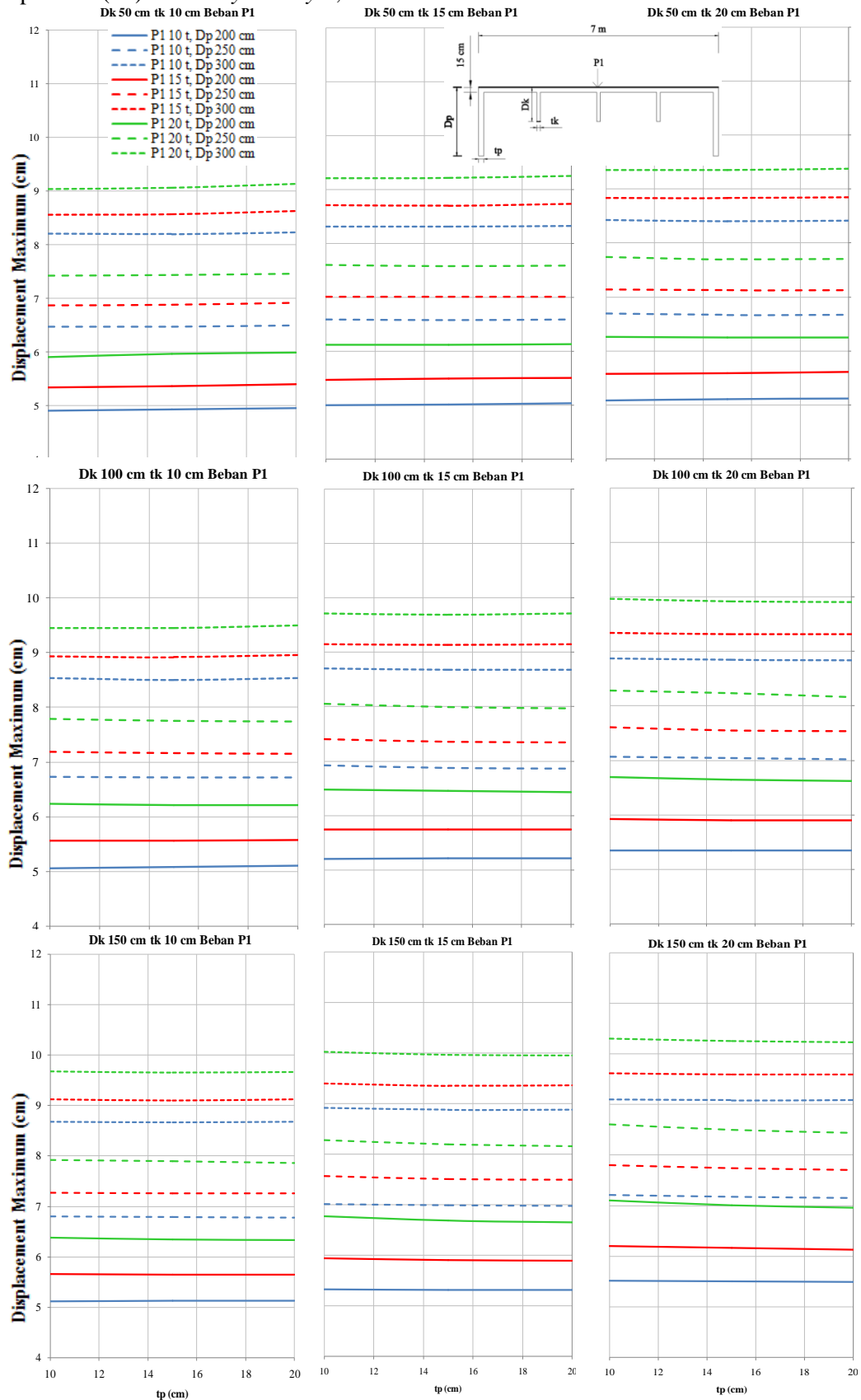
## Lampiran 1D

Grafik *displacement* versus kedalaman rib tengah ( $D_k$ ) dengan pembebanan terpusat di tepi pondasi (P2) untuk *dry density*  $0,8 \text{ t/m}^3$ .



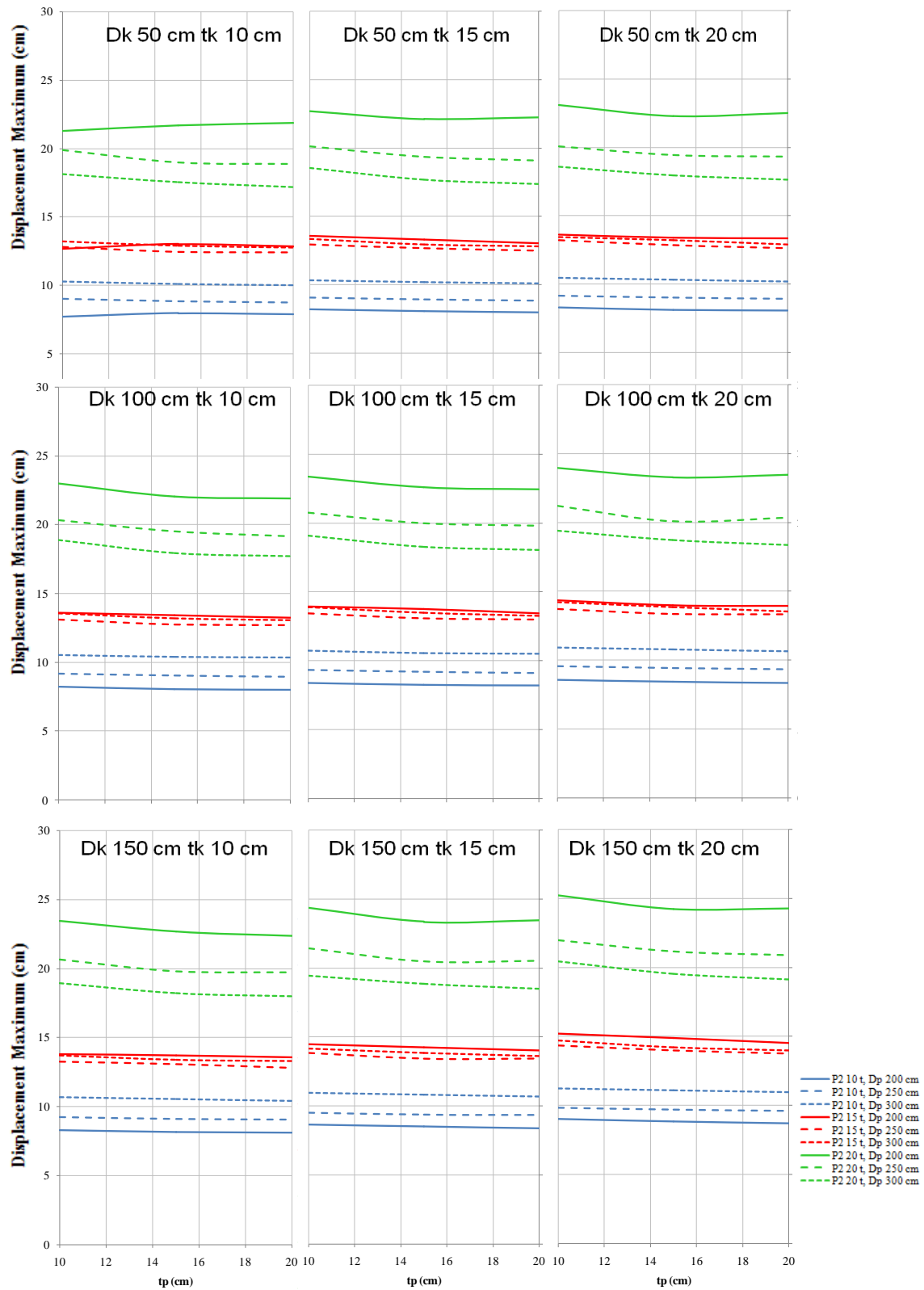
## Lampiran 1E

Grafik *displacement* versus tebal rib tepi (*tp*) dengan pembebanan terpusat di tengah pondasi (P1) untuk *dry density*  $0,8 \text{ t/m}^3$ .



## Lampiran 1F

Grafik *displacement* versus tebal rib tepi (*tp*) dengan pembebanan terpusat di tepi pondasi (P2) untuk *dry density* 0,8 t/m<sup>3</sup>.



## Lampiran 2

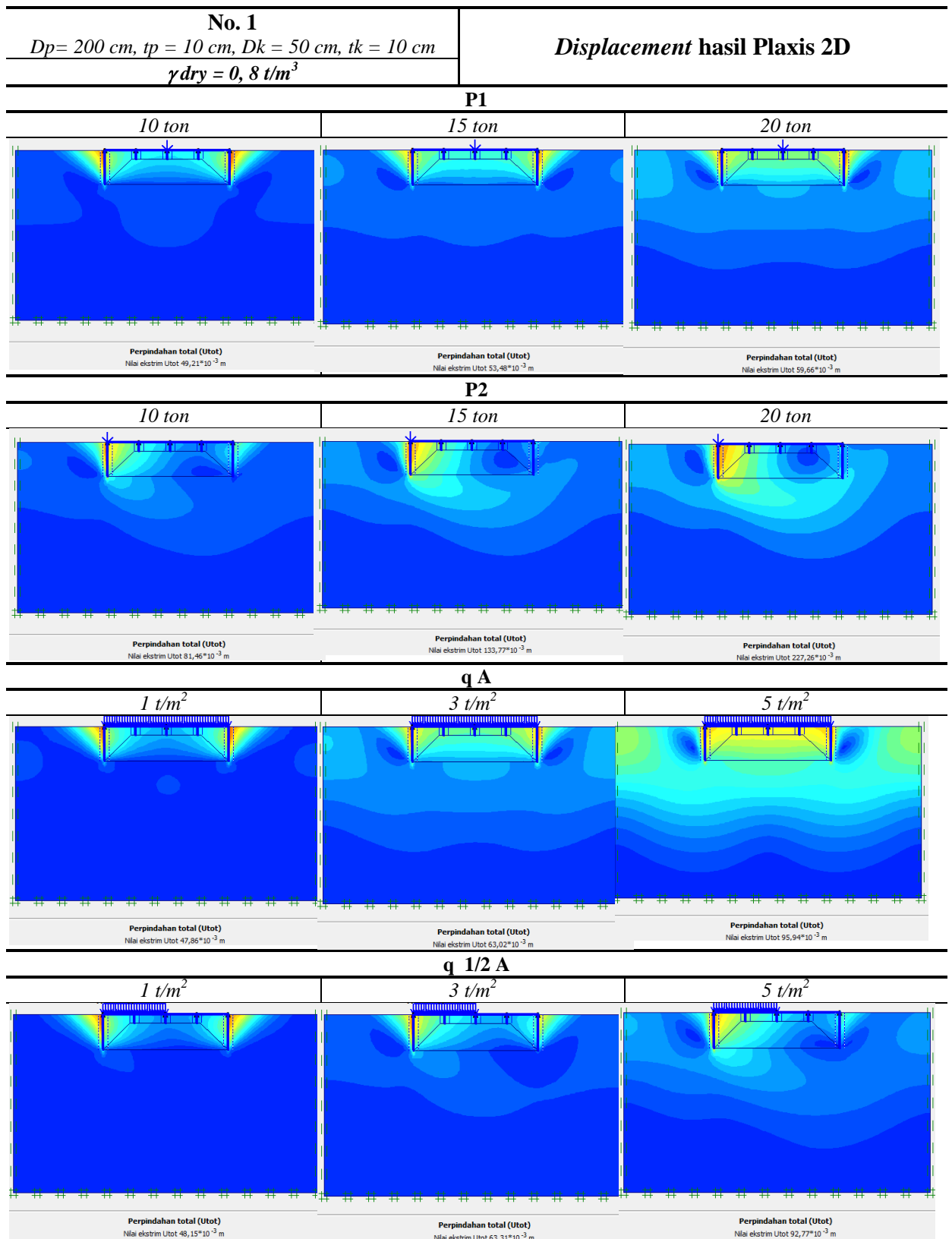
Tabel Penomoran variasi elemen struktur jaring laba-laba

<i>Dp</i> ( <i>cm</i> )	<i>Dk (cm)</i>									<i>tp (cm)</i>	<i>γ<sub>dry</sub></i> ( <i>t/m<sup>3</sup></i> )		
	50			100			150						
	<i>tk (cm)</i>			<i>tk (cm)</i>			<i>tk (cm)</i>						
	10	15	20	10	15	20	10	15	20				
<b>200</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	0,8		
<b>250</b>	28	29	30	31	32	33	34	35	36				
<b>300</b>	55	56	57	58	59	60	61	62	63				
<b>200</b>	10	11	12	13	14	15	16	17	18	15		0,8	
<b>250</b>	37	38	39	40	41	42	43	44	45				
<b>300</b>	64	65	66	67	68	69	70	71	72				
<b>200</b>	19	20	21	22	23	24	25	26	27	20			0,8
<b>250</b>	46	47	48	49	50	51	52	53	54				
<b>300</b>	73	74	75	76	77	78	79	80	81				

<i>Dp</i> ( <i>cm</i> )	<i>Dk (cm)</i>									<i>tp (cm)</i>	<i>γ<sub>dry</sub></i> ( <i>t/m<sup>3</sup></i> )		
	50			100			150						
	<i>tk (cm)</i>			<i>tk (cm)</i>			<i>tk (cm)</i>						
	10	15	20	10	15	20	10	15	20				
<b>200</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1,0		
<b>250</b>	28	29	30	31	32	33	34	35	36				
<b>300</b>	55	56	57	58	59	60	61	62	63				
<b>200</b>	10	11	12	13	14	15	16	17	18	15		1,0	
<b>250</b>	37	38	39	40	41	42	43	44	45				
<b>300</b>	64	65	66	67	68	69	70	71	72				
<b>200</b>	19	20	21	22	23	24	25	26	27	20			1,0
<b>250</b>	46	47	48	49	50	51	52	53	54				
<b>300</b>	73	74	75	76	77	78	79	80	81				

<i>Dp</i> ( <i>cm</i> )	<i>Dk (cm)</i>									<i>tp (cm)</i>	<i>γ<sub>dry</sub></i> ( <i>t/m<sup>3</sup></i> )		
	50			100			150						
	<i>tk (cm)</i>			<i>tk (cm)</i>			<i>tk (cm)</i>						
	10	15	20	10	15	20	10	15	20				
<b>200</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1,2		
<b>250</b>	28	29	30	31	32	33	34	35	36				
<b>300</b>	55	56	57	58	59	60	61	62	63				
<b>200</b>	10	11	12	13	14	15	16	17	18	15		1,2	
<b>250</b>	37	38	39	40	41	42	43	44	45				
<b>300</b>	64	65	66	67	68	69	70	71	72				
<b>200</b>	19	20	21	22	23	24	25	26	27	20			1,2
<b>250</b>	46	47	48	49	50	51	52	53	54				
<b>300</b>	73	74	75	76	77	78	79	80	81				

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## No. 2

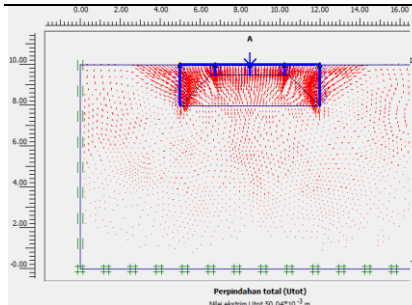
$D_p = 200 \text{ cm}$ ,  $t_p = 10 \text{ cm}$ ,  $D_k = 50 \text{ cm}$ ,  $t_k = 15 \text{ cm}$

$\gamma_{\text{dry}} = 0,8 \text{ t/m}^3$

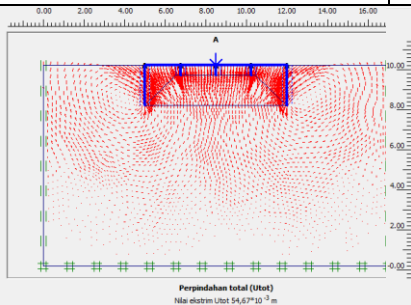
## Displacement hasil Plaxis 2D

### P1

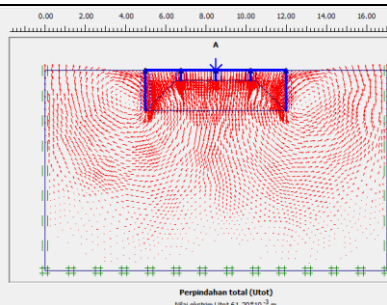
10 ton



15 ton

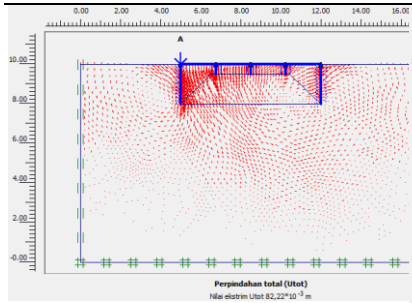


20 ton

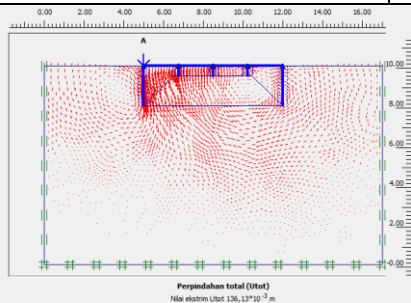


### P2

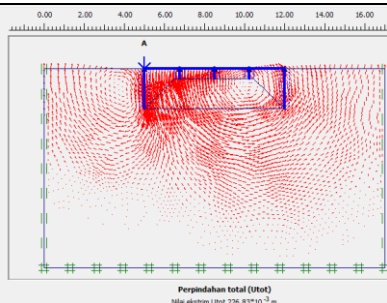
10 ton



15 ton

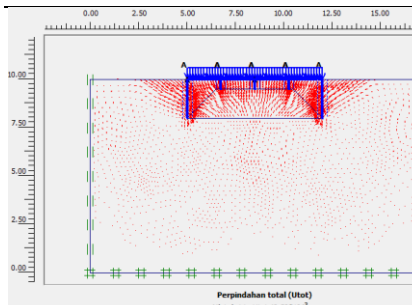


20 ton

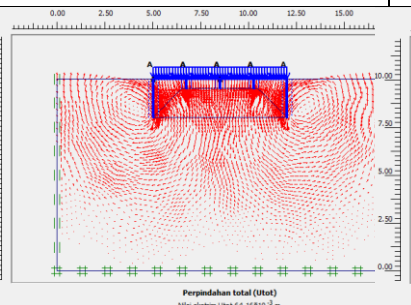


### q A

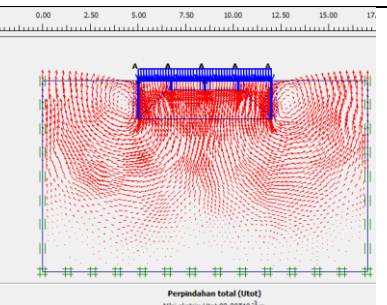
1 t/m<sup>2</sup>



3 t/m<sup>2</sup>

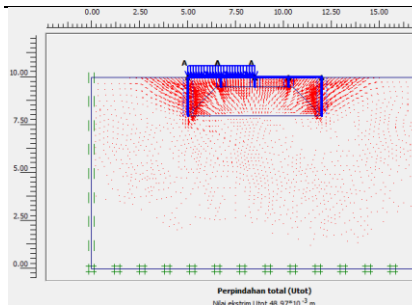


5 t/m<sup>2</sup>

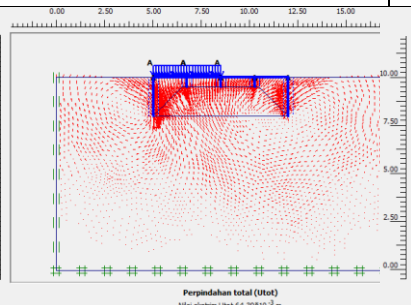


### q 1/2 A

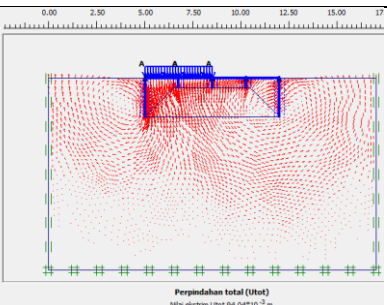
1 t/m<sup>2</sup>



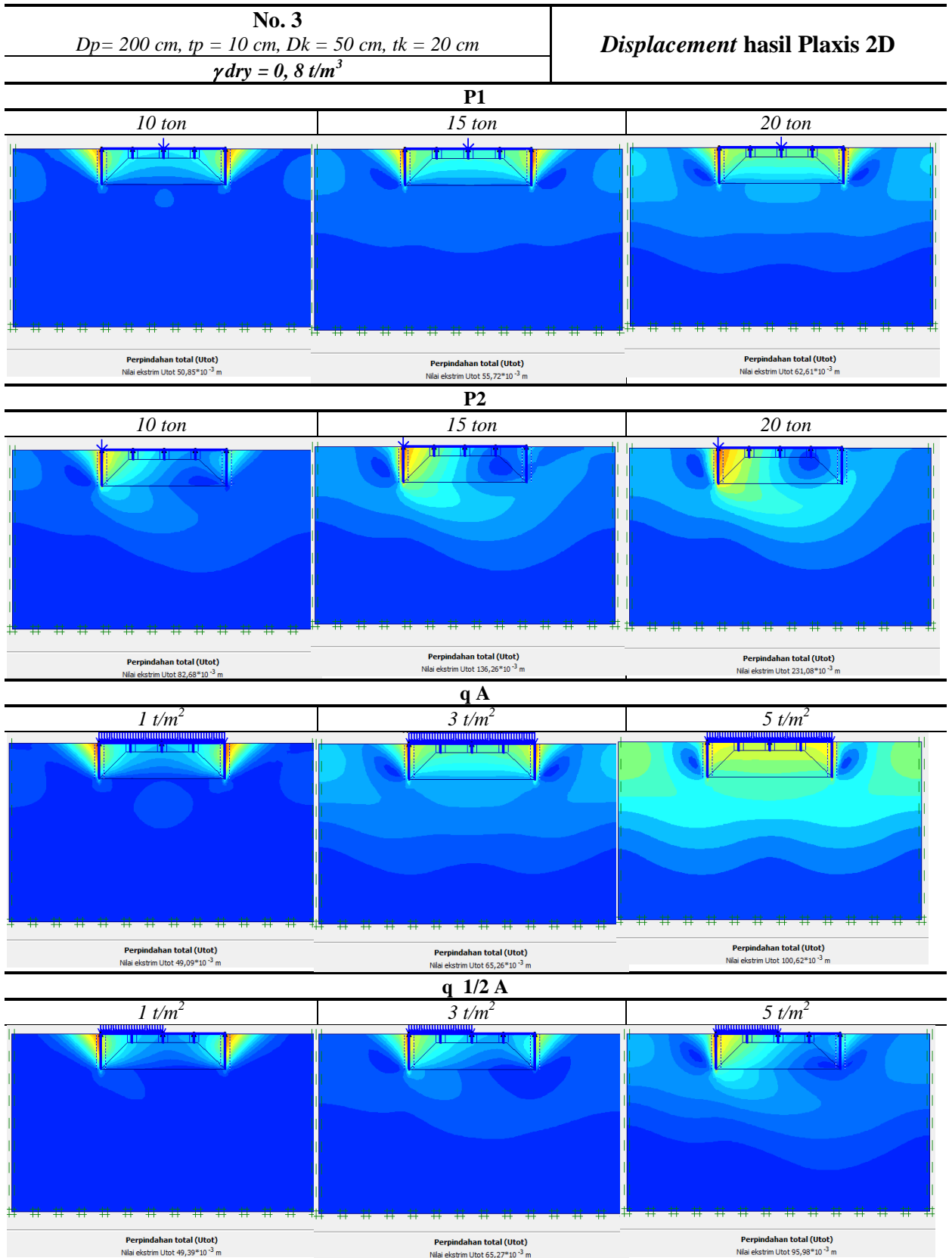
3 t/m<sup>2</sup>

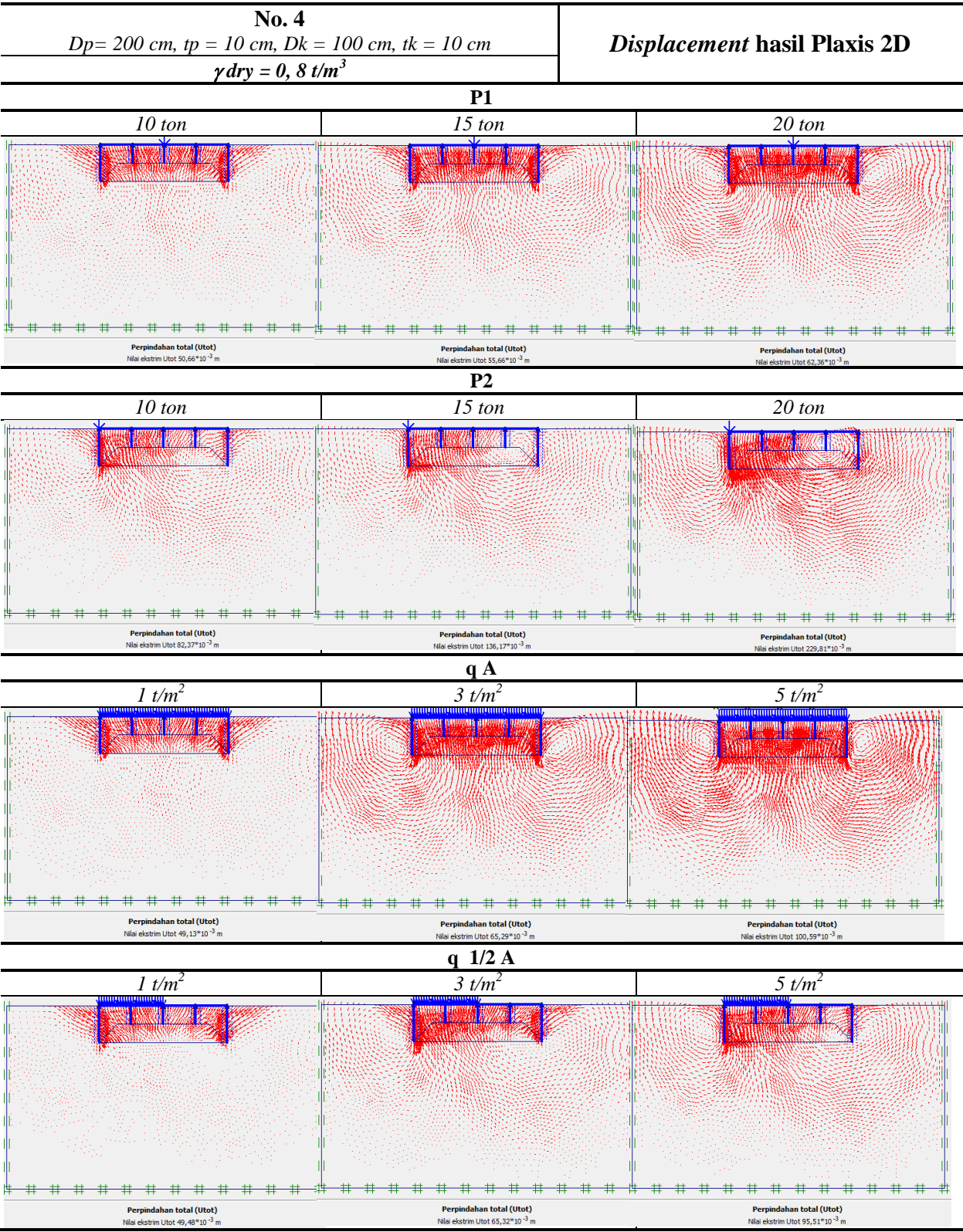


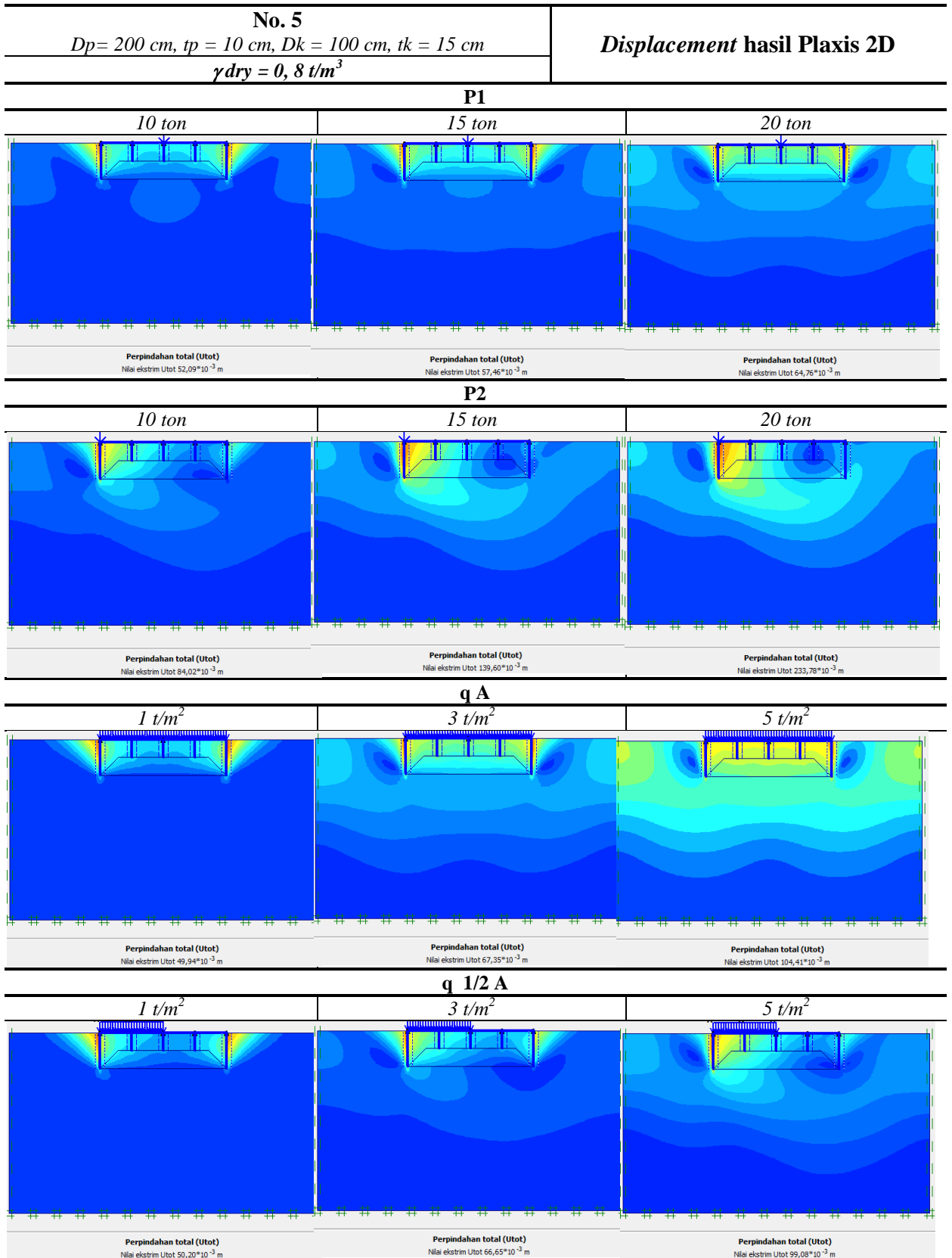
5 t/m<sup>2</sup>

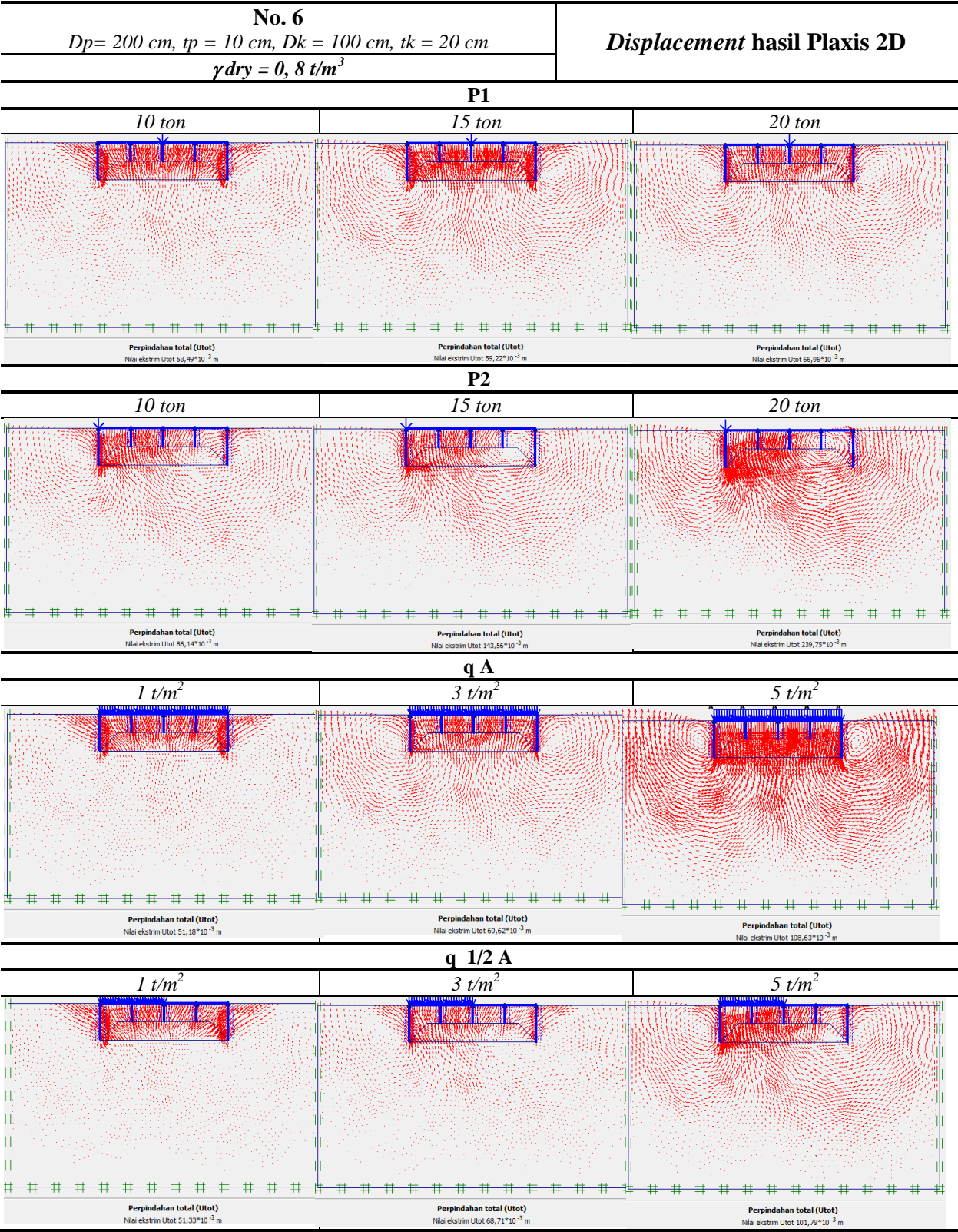


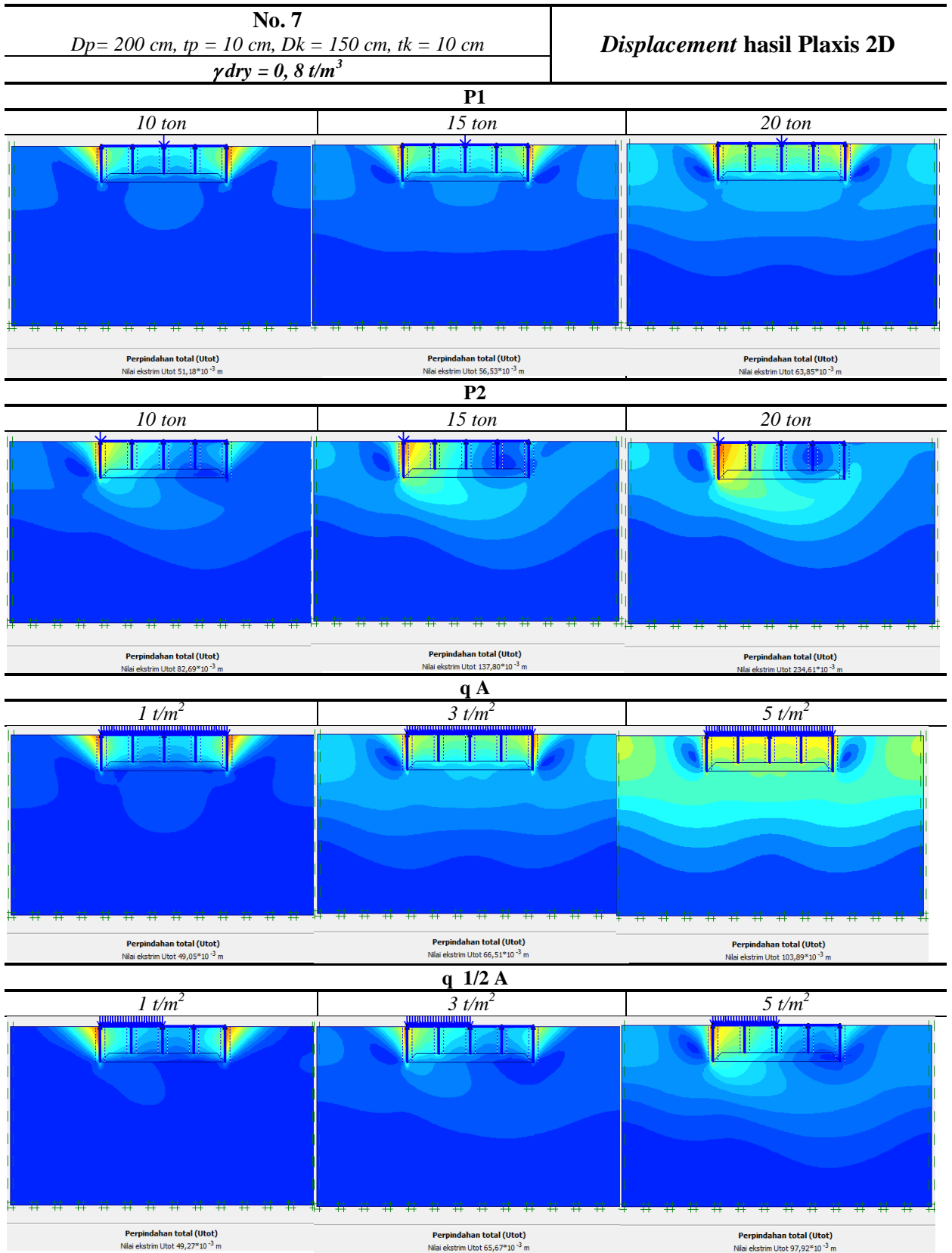




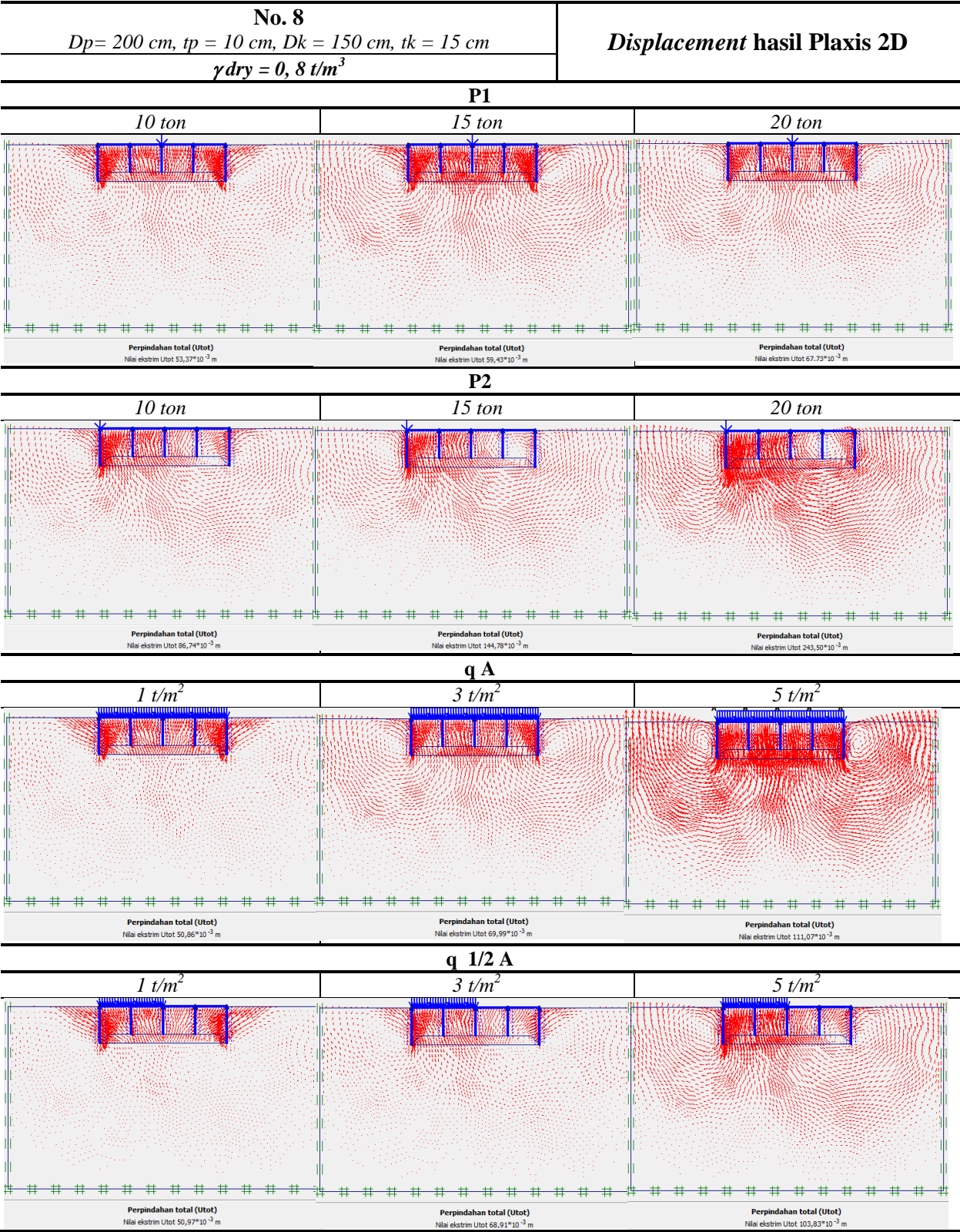


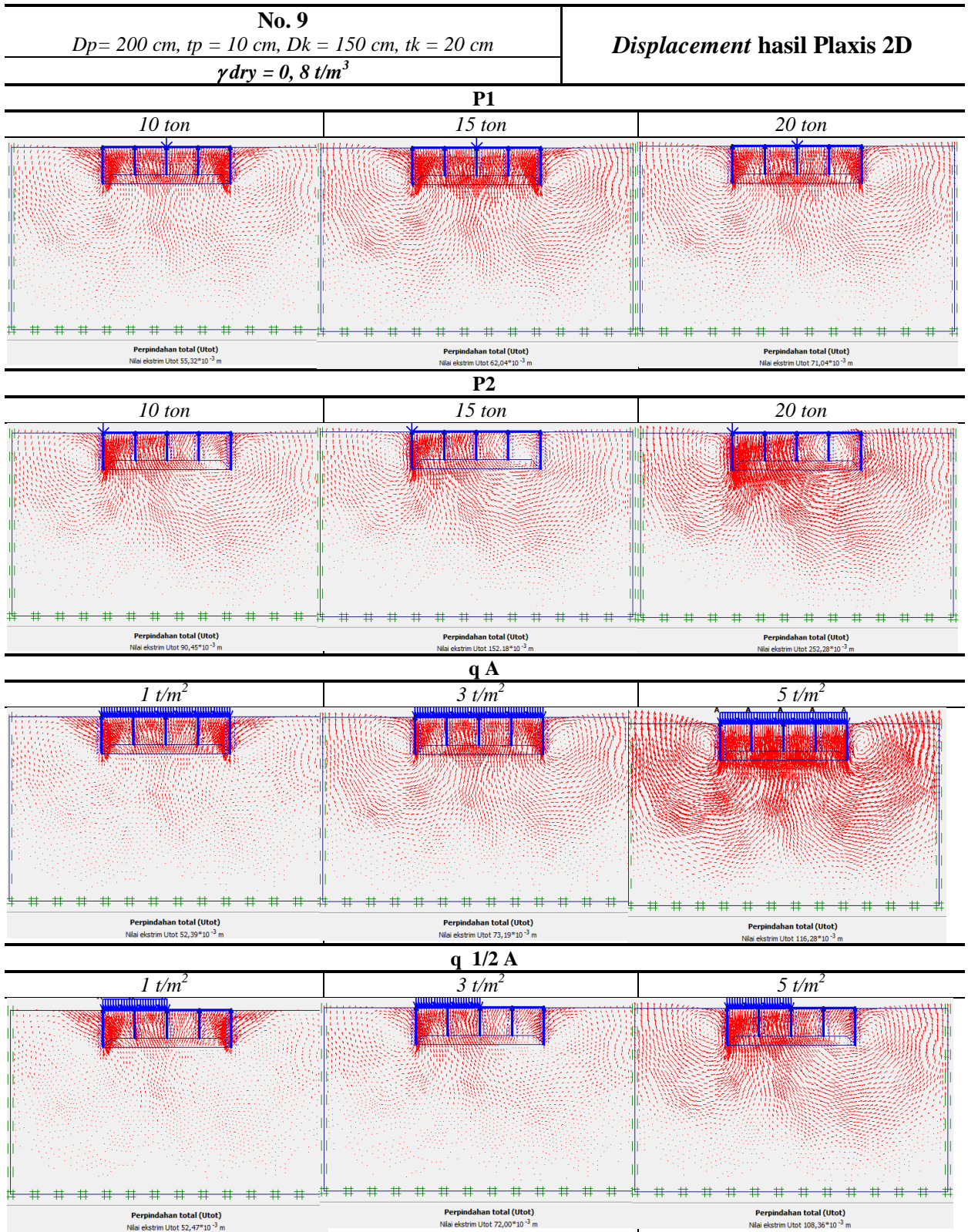


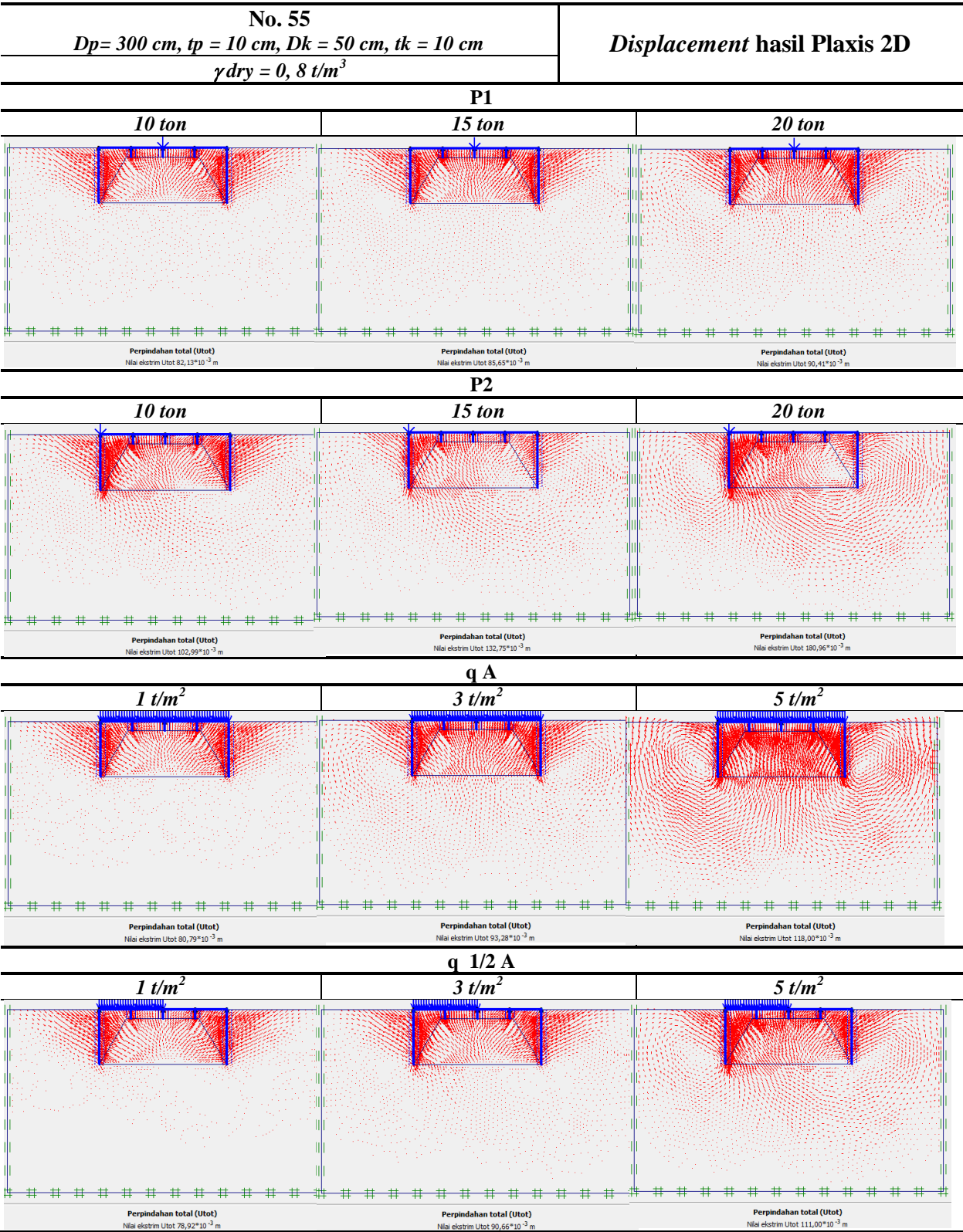




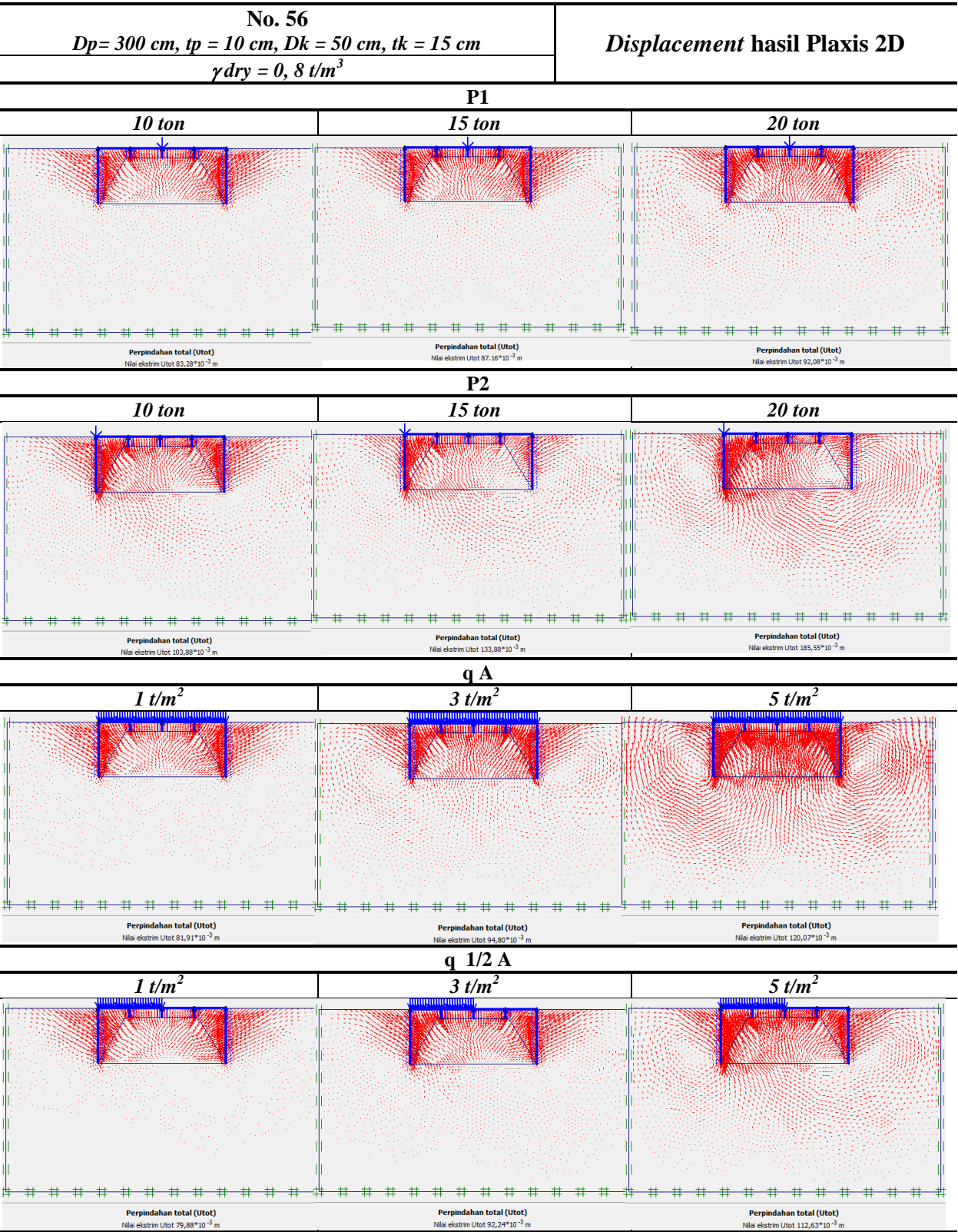


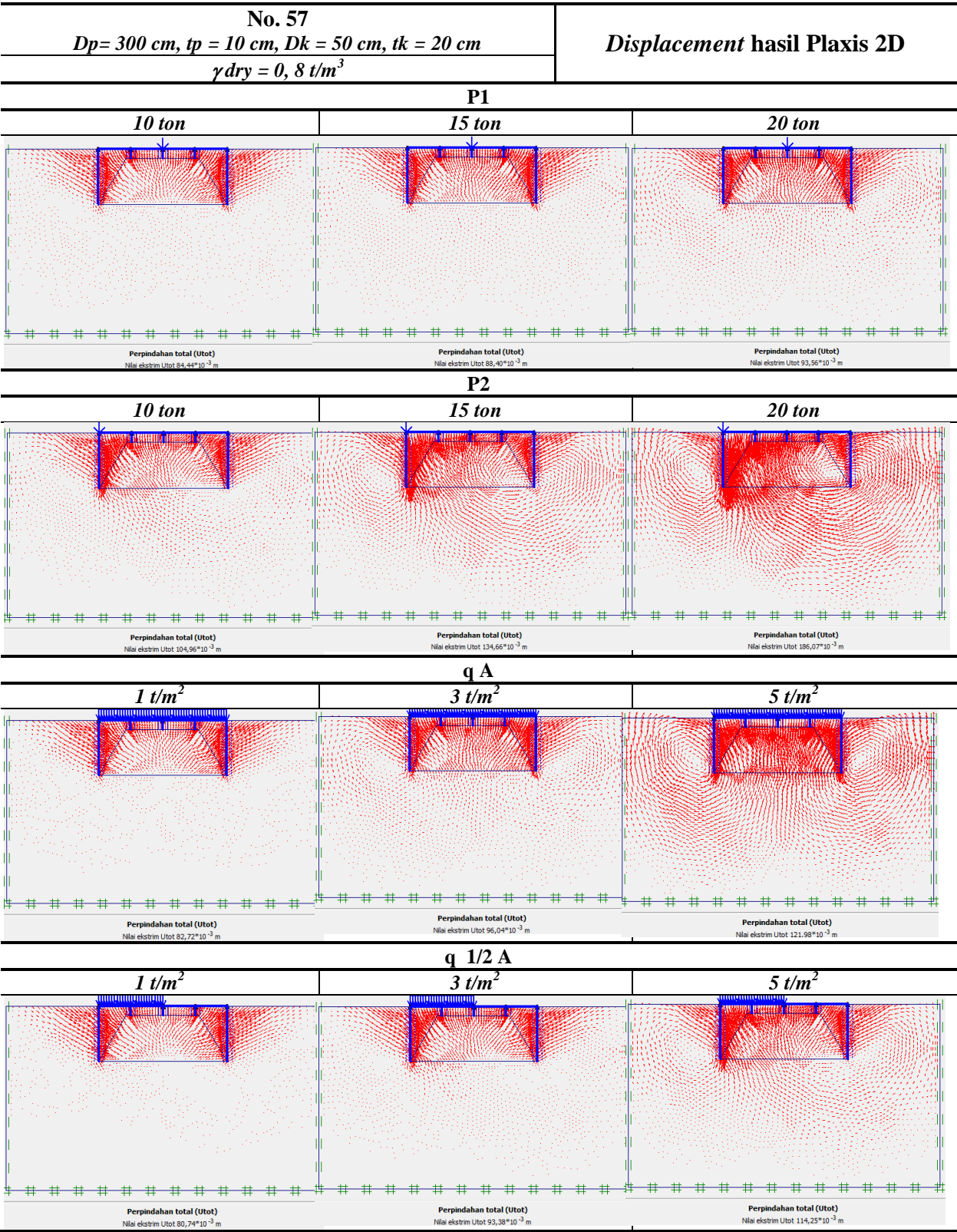


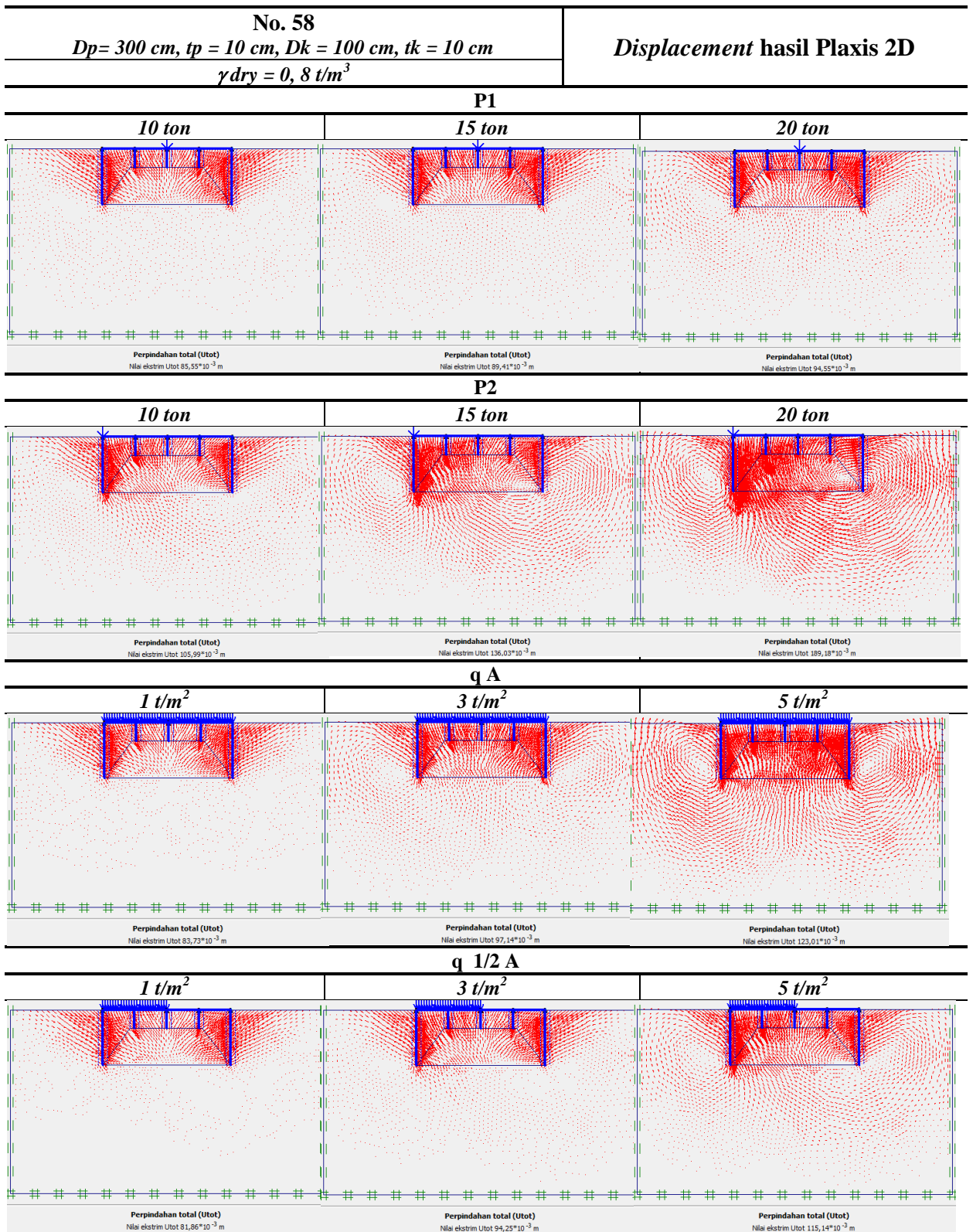


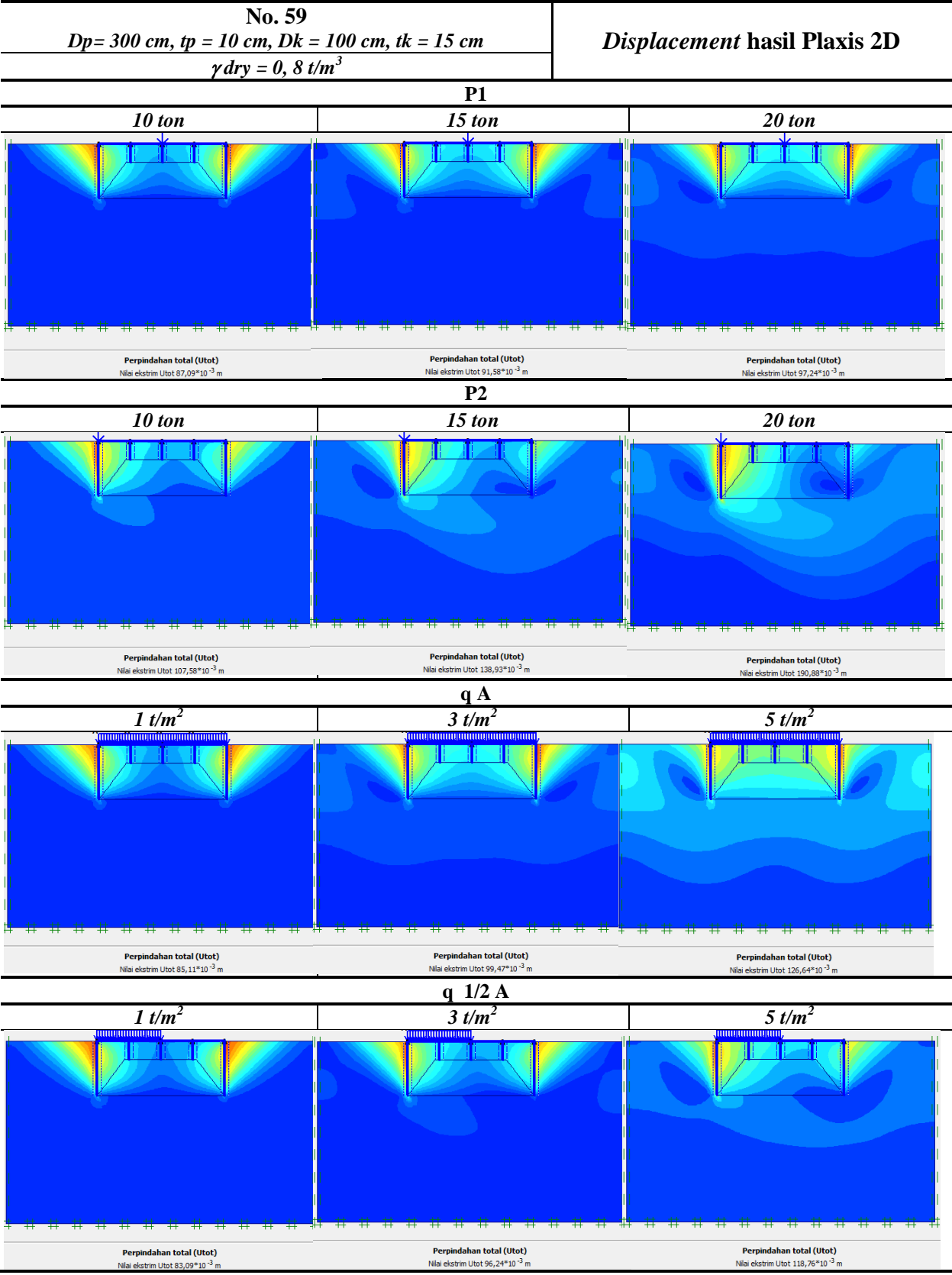




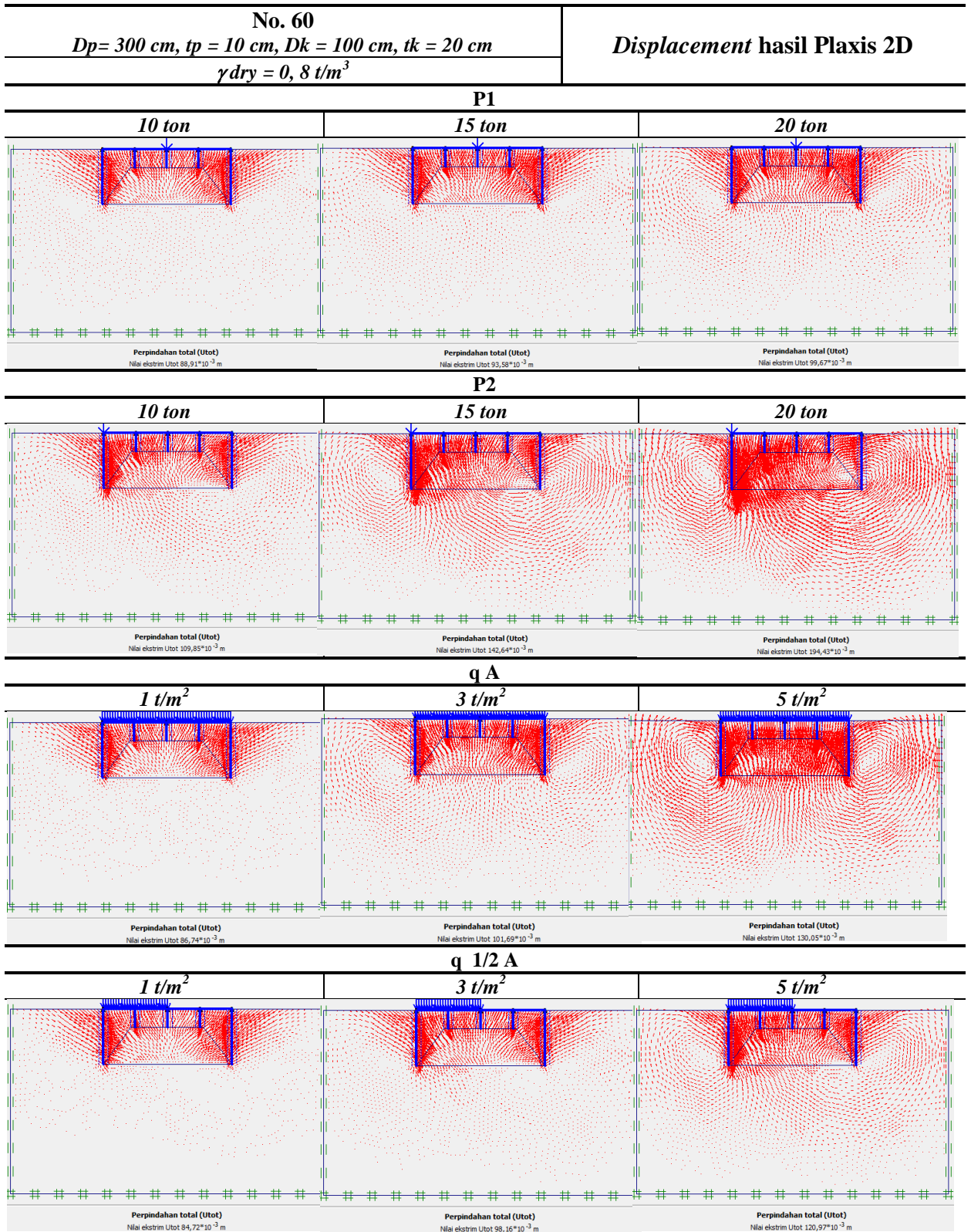


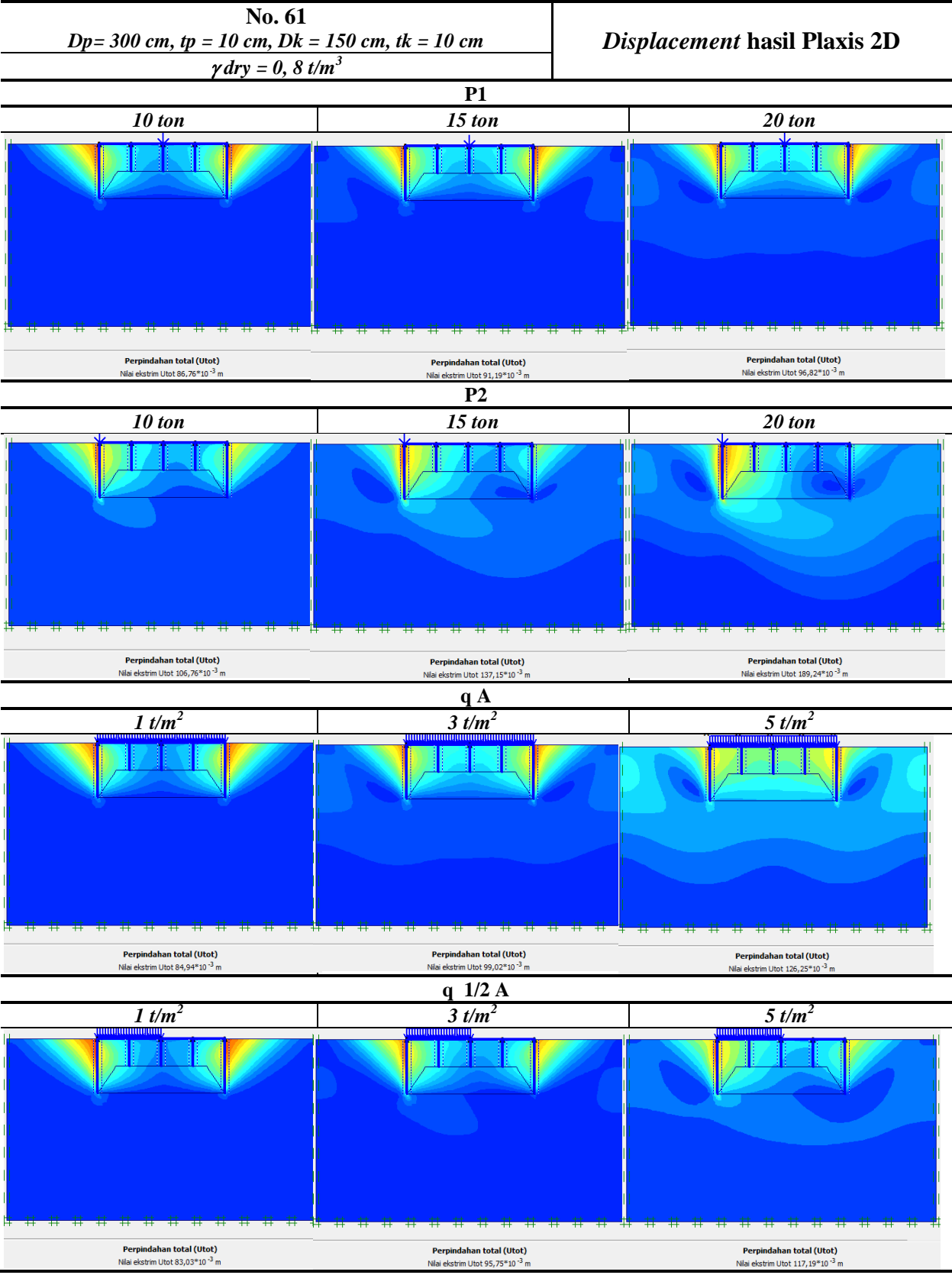


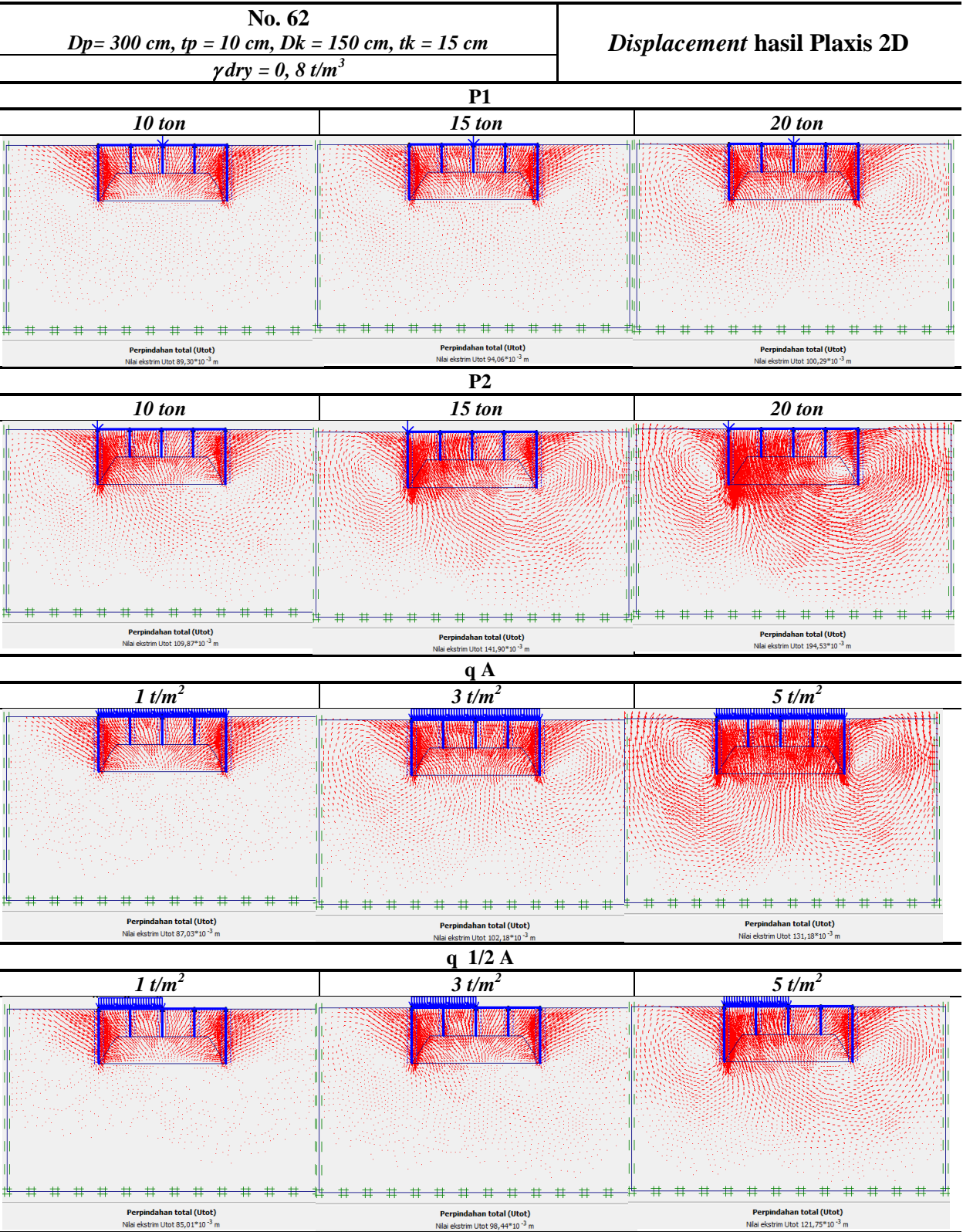


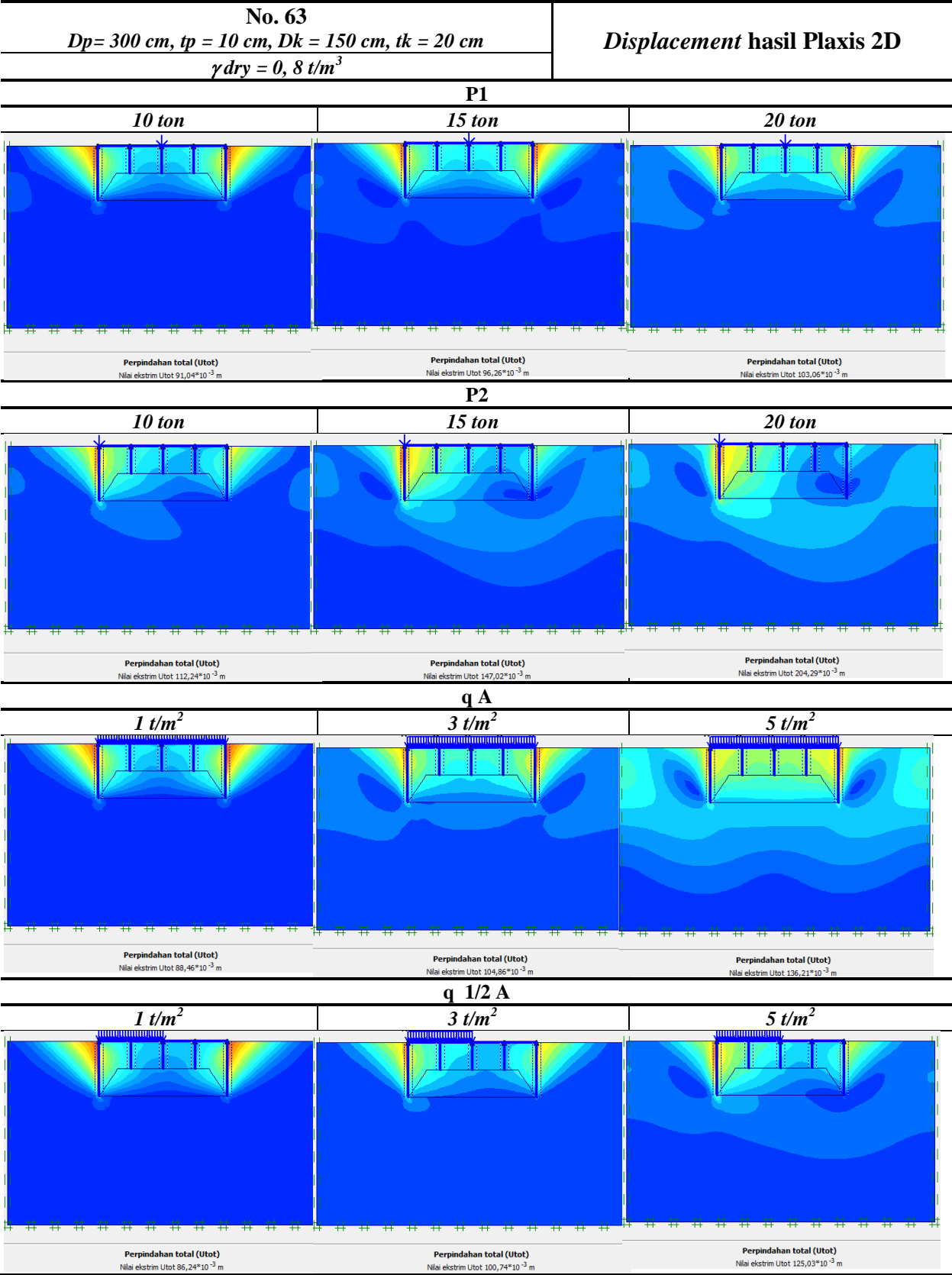














## BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan di Riau pada tanggal 17 April 1990, merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu SDN 020 Pekanbaru, SMP Babussalam dan SMA Babussalam Pekanbaru Riau. Setelah lulus dari SMA. Penulis diterima di Jurusan Teknik Sipil FTSP Universitas Riau.

Di Pascasarjana Jurusan Teknik Sipil ini Penulis mengambil Bidang Studi Geoteknik dengan judul tesis “Studi Parametrik Elemen Jaring Laba-Laba Sebagai Perkerasan Jalan di Atas Tanah Lunak”. Penulis tertarik untuk melakukan penelitian dibidang geoteknik, dan dapat dihubungi melalui email [hayatul.hamida@gmail.com](mailto:hayatul.hamida@gmail.com) .